SMITHSONIAN INSTITUTION NOV 17 1913

Ein Beitrag zur Kenntnis der Fortleitung des Erregungsvorganges im Warmblüterherzen.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der

veterinär-medizinischen Doktorwürde

der

vereinigten medizinischen Fakultät

der

Großherzoglich Hessischen Ludwigs-Universität zu Gießen

vorgelegt von

Wilh. Erfmann,

approb. Tierarzt aus Recklinghausen.

München.

Druck von R. Oldenbourg.

1913.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40154005_0294

Ein Beitrag zur Kenntnis der Fortleitung des Erregungsvorganges im Warmblüterherzen.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der

veterinär-medizinischen Doktorwürde

der

vereinigten medizinischen Fakultät

der

Großherzoglich Hessischen Ludwigs-Universität zu Gießen

vorgelegt von

Wilh. Erfmann,

approb. Tierarzt aus Recklinghausen.

München.

Druck von R. Oldenbourg.

1913.

Gedruckt mit Genehmigung der vereinigten medizinischen Fakultät zu Giessen.

Referent: Prof. Dr. Garten.

Trotz der zahlreichen einschlägigen Untersuchungen ist die Lehre von der Ausbreitung der Erregung im Herzen durchaus noch nicht geklärt, obgleich man außer der direkten Beobachtung, die graphische Darstellung der mechanischen Vorgänge und in neuerer Zeit selbst die Registrierung der Aktionsströme dazu heranzog. Da vor kurzem die Untersuchung der Herztätigkeit mittels Differentialelektroden nach Clement[1]), die er speziell an Frosch- und Schildkrötenherzen erprobte, einen neuen aussichtsreichen Weg eröffnete, habe ich versucht, mit dieser Methode der Frage über die Ausbreitung der Erregung im normalen Säugetierherzen, und zwar vorerst am Ventrikel, näherzutreten. Ehe ich aber auf die Ergebnisse eingehe, seien zunächst die vielfach voneinander abweichenden bisherigen Befunde angeführt, welche wohl zum Teil durch die verschiedenen Versuchsbedingungen zu erklären sind.

---

1) Clement, Über eine neue Methode zur Untersuchung der Fortleitung des Erregungsvorganges im Herzen. Zeitschr. f. Biol. 1912, Bd. 58, S. 110.

Engelmann[1]) z. B. experimentierte an isolierten, zum Teil zerschnittenen Froschherzen, deren durch künstliche Reizung bedingte Kontraktion er graphisch darstellte. Unter der von ihm vertretenen Annahme, daß die Erregung durch die Muskulatur fortgeleitet würde, berechnete er auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung. Diese beträgt nach seinen Messungen in der Kammerwand des blutleeren Froschherzens 10 bis 30 mm pro Sekunde; normalerweise soll jedoch nach seiner Ansicht dieselbe so groß sein, daß scheinbar an allen Stellen des Ventrikels der Kontraktionsakt gleichzeitig beginnt und aufhört.

Zu demselben Resultat kam Marchand[2]), der ebenfalls an exstirpierten Froschherzen arbeitete, wobei er die Kammer teils direkt, teils vom Vorhof aus durch einzelne Induktionsschläge erregte. Hierbei ergab sich auch, daß bei künstlicher Reizung eine Negativitätswelle vom Reizorte, einerlei wo dieser lag, gleichmäßig nach allen Richtungen durch die Kammer fortschritt. In einem solchen Falle zeigte die Bussole in der Regel eine Doppelschwankung an, d. h. es trat ein diphasischer Aktionsstrom auf, indem die dem Reizorte näher gelegene Stelle zunächst negativ wurde und dann positiv gegen die entferntere. Später vorgenommene Kontrollversuche mit Hilfe des Differentialrheotoms führten zu denselben Ergebnissen.

Engelmann[3]), der mittels letzterer Methode fast gleichzeitig experimentierte, bestätigte die Marchandschen Resultate. Indem er speziell den Befund bei künstlicher indirekter Reizung des Ventrikels vom Vorhof aus auf das spontan schlagende Herz übertrug, folgerte er: »Man muß also annehmen, daß die Erregung des Ventrikels unter normalen Umständen an der Basis beginnt . . .« Nicolai[4]) kritisiert (S. 169—171) ausführlich diese irrtümliche Schlußfolgerung, indem er betont, daß die Engelmannsche Beobachtung zwar richtig, ihre Deutung aber falsch war, und daß ein bei künstlicher Reizung des Herzens erhaltenes Resultat nicht ohne weiteres auf den normalen Vorgang übertragen werden durfte. Von hoher Bedeutung ist noch die spätere Angabe Engelmanns[5]), daß zweifellos unter normalen Verhältnissen die Reize zur Herzbewegung beim Warmblüter nahe der Mündung der Hohlvenen in den rechten Vorhof, beim Kaltblüter jedoch am sinus venosus entstehen. Von hier aus durch-

1) Engelmann, Über die Leitung der Erregung im Herzmuskel. Pflüg. Arch. 1875, Bd. 11, S. 465.

2) Marchand, Beiträge zur Kenntnis der Reizwelle und Kontraktionswelle des Herzmuskels. Pflüg. Arch. 1877, Bd. 15, S. 511.

Derselbe, Der Verlauf der Reizwelle des Ventrikels bei Erregung desselben vom Vorhof aus und die Bahn, auf der die Erregung zum Ventrikel gelangt. Ibid. 1878, Bd. 17, S. 137.

3) Engelmann, Über das elektrische Verhalten des tätigen Herzens. Pflüg. Arch. 1878, Bd. 17, S. 68.

4) Kraus und Nicolai, Das Elektrokardiogramm des gesunden und kranken Menschen. Leipzig 1910.

5) Engelmann, Über die Leitung der Bewegungsreize im Herzen. Pflüg. Arch. 1892, Bd. 52, S. 537 und 1894, Bd. 56, S. 149.

läuft die Erregung die Vorhofwandung und gelangt mittels des Hisschen Übergangsbündels zur Kammer.

Wie aber der Erregungsablauf im Ventrikel selbst ist, darüber herrscht auch heute noch keine übereinstimmende Meinung, was nachstehende Theorien beweisen.

J. A. Mc. William[1]) fand gelegentlich seiner Untersuchungen über »Herzflimmern« am anästhesierten, künstlich ventilierten Katzen und Igeln mit bloßgelegtem Herzen, daß zuweilen nach Einbringen gewisser Salze (z. B. KBr) in die Blutbahn der Ablauf der Systole sowohl des Vorhofs wie des Ventrikels durch Verlangsamung des Vorganges viel deutlicher wurde. Dies ermöglichte ihm, ein Fortschreiten der Kontraktionswelle von der Einmündung der großen Venen gegen die Kammer und an letzterer von der Basis zur Spitze hin zu beobachten (S. 306). Dagegen konnte er am nicht vergifteten, normalen Herzen nur eine koordinierte Kontraktion feststellen.

Waller und Reid[2]) wendeten zur Entscheidung der Frage nach dem Ausgangspunkt der Erregung in der Kammer die graphische Methode an, indem sie lange Schreibhebel, z. B. auf Basis und Spitze des ausgeschnittenen Herzens legten, mittels deren sie die zugehörigen Kontraktionskurven aufzeichneten. Traten die mechanischen Effekte ungleichzeitig auf, so deutete dies auf ein allmähliches Fortschreiten der Erregung in der Kammerwand hin. So fanden sie beim Froschherzen regelmäßig eine Verspätung der Spitze gegen die Basis. Beim Säugetierherzen dagegen begann die Kontraktion normal in der Regel an der Spitze. Von den 25 untersuchten Schaf-, Hunde- und Kaninchenherzen zeigten 17 dieses Verhalten; in zwei Fällen kontrahierte sich die Basis vor der Spitze und in den sechs übrigen konnte eine zeitliche Differenz in dem Beginn der Bewegungen nicht nachgewiesen werden.

Die bisher angegebenen Untersuchungen beweisen aber nichts für den normalen Vorgang, wie wir ihn am lebenden, möglichst intakten Tiere annehmen müssen. Hier leistet uns, wie weiter unten gezeigt wird, der Aktionsstrom des Herzens eine große Hilfe. Am lebenden Menschen hat zuerst Waller[3]) denselben nachgewiesen. In Übereinstimmung mit seinen früheren Beobachtungen (graphische Registrierung der Herzbewegung 1888)[4]) stellte er 1889 kapillarelektrometrisch fest, daß bei jedem Schlag des Warmblüterherzens die Erregung von der Spitze zur Basis fortschreitet, und daß der entsprechende Aktionsstrom doppelphasisch ist. Während er anfänglich von zwei Punkten des in situ befindlichen, bloßgelegten Katzenherzens zum Kapillarelektrometer ableitete resp. nur von einem, während die andere

1) Mc. William, Fibrillar contraction of the heart. Journ. of Physiol. 1887, VIII, S. 296.

2) Waller and Reid, On the action of the excised mammalian heart. Philos. transact. 1888, London, Vol. 178 B.

3) Waller, On the electromotive changes connected with the beat of the mammalian heart, and of the human heart in particular. Philos. Trans. 1889, London, Vol. 180 B, p. 169.

4) Waller and Reid l. c.

Elektrode an verschiedenen Körperstellen angelegt wurde, brachte er später beide am intakten Tier oder Menschen an. Auf Grund seiner Untersuchungen stellte er sich (S. 190) die Fortleitung der Erregung im Herzen folgendermaßen vor: Von ihrem Ursprungsorte aus (Einmündung der Venen in den Vorhof) gelangt die Reizwelle durch die »atrioventricular curtains« und Papillarmuskeln zu der Spitze, um dann wieder aufwärts nach der Basis der Kammern zu gehen, wo sie am längsten verweilt.

Wie Waller, so schreiben auch Bayliß und Starling[1]) die ganze elektrische Veränderung des Herzens ausschließlich dem Ventrikel zu. Mit derselben Versuchsmethode (Ableitung vom intakten Mensch oder Hund zum Kapillarelektrometer) fanden sie im Gegensatz zu dem vorigen Autor, daß die Erregung normalerweise stets an der Basis beginnt. Die so gewonnenen Kurven zeigten einen dreiphasischen Aktionsstrom. Hieraus schlossen sie (S. 214), daß bei jeder Systole zunächst die Basis, dann die Spitze negativ wurde; da die Negativität der Spitze aber nicht solange dauerte wie die der Basis, so entstand noch eine dritte Phase. Zu demselben Ergebnis gelangten sie bei Ableitung von zwei Punkten der Herz- oder Perikardoberfläche anästhesierter und mit warmer Luft künstlich ventilierter Hunde und Schildkröten; doch waren die Kurven in diesen Fällen nur diphasisch. Unter ungünstigen Bedingungen (z. B. künstliche Abkühlung der Basis bei gleichzeitigem Erwärmen der Spitze, künstliche Atmung mit kalter Luft usw.) konnte jedoch die Erregungswelle an der Spitze beginnen.

Wie Nicolai[2]) angibt, sind auch eine Reihe belgischer Forscher (Fredericq, Schmidt-Nielsen, Stassen, Fauconnier) »energisch für eine in meßbarer Zeit fortschreitende Erregungswelle eingetreten«. »Er (d. h. Fauconnier) nimmt an, daß normalerweise die Erregung von der Basis zur Spitze läuft, daß aber bei künstlich erzeugten Extrasystolen die Erregungswelle an jedem Punkt des Herzens beginnen und sich von dort radiär ausbreiten kann« (S. 125 u. 132).

Schlüter[3]), welcher die Frage nach der Reizleitung auf Anregung Langendorffs mittels Nervmuskelpräparate an künstlich durchbluteten Säugetierherzen prüfte, konnte alle drei Möglichkeiten konstatieren: Verspätung der Spitze, Verspätung der Basis und Gleichzeitigkeit. In der Regel war es so, daß anfänglich die Basis vor der Spitze, später dagegen die Spitze sich vor der Basis kontrahierte. Daß diese Methode nicht zu völlig einwandfreien Ergebnissen führen konnte, wurde bereits von Clement[4]) (S. 126) betont.

Zahlreiche Untersuchungen der Aktionsströme an Menschen und Tieren (besonders Hunden) verdanken wir Einthoven. Da die vom isolierten

1) Bayliß and Starling, On the electromotive phenomena of the mammalian heart. Proc. of the Roy. Soc. 1892, London, Vol. 50, p. 211.

2) Kraus und Nicolai l. c.

3) Schlüter, Die Reizleitung im Säugetierherzen. Pflüg. Arch. 1902, Bd. 89, S. 87.

4) Clement l. c.

oder bloßgelegten Herzen abgeleiteten Elektrokardiogramme ihn wegen ihrer wechselnden Form nicht befriedigten, legte er die Elektroden fast stets am unverletzten Körper an (meistens an beiden Händen, rechte oder linke Hand und linken Fuß). Die auf diese Weise erhaltenen Kurven waren sehr wenig voneinander verschieden; regelmäßig bestanden sie aus 5 charakteristischen Zacken, die er zur Orientierung mit den Buchstaben *P*, *Q*, *R*, *S* und *T* belegte. Bezüglich der Deutung dieser Spitzen gibt Einthoven in seiner aus dem Jahre 1906 stammenden Arbeit »Le Télécardiogramme«[1]) an, daß der erste Gipfel *P* allein der »Kontraktion« der Vorhöfe (wie sich Einthoven ausdrückt) entspricht, während die 4 folgenden (*Q*, *R*, *S* und *T*) den durch die Ventrikelsystole hervorgerufenen elektrischen Effekt darstellen. Eine ausführliche Schilderung der Fortpflanzung der Erregung im Herzmuskel gibt er in einer späteren Arbeit[2]). Danach veranlaßt die Erregung, welche von den großen Venen ausgeht, zunächst eine Kontraktion der Vorkammern (*P*), durchläuft dann das Hissche Bündel (*P—Q*), um von dessen Endausbreitungen (Purkinjeschen Fasern) gleichzeitig auf die ganze Kammeroberfläche überzugehen (was die Spitzen *Q*, *R* und *S* ausdrücken). *Q* und *S* bilden sich bei Negativität der Spitze oder der linken Kammer, *R* dagegen bei einer solchen der Herzbasis und der rechten Kammer. *T* endlich verdankt seine Entstehung dem ungleichzeitigen Aufhören des Erregungszustandes der verschiedenen Ventrikelabschnitte.

Wie Einthoven, so sind auch alle neueren Forscher der Ansicht, daß die Erregungswelle einen komplizierten Weg durchläuft und nicht, wie die älteren Autoren annahmen, einfach von der Basis zur Spitze oder umgekehrt. So nimmt z. B. Gotch[3]) zunächst in bezug auf das Froschherz an, daß entsprechend der embryonalen Entwicklung auch noch am erwachsenen Herzen die Erregung bogenförmig verläuft, indem sie vom venösen Teil der Kammerbasis allmählich zur Spitze fortschreitet, um von hier aus nach dem Aortenteil der Basis zurückzukehren. Es wird also im Gegensatz zu Bayliß und Starling die Basis zweimal negativ. Beweise für seine Lehre suchte Gotch mittels des Kapillarelektrometers zu erbringen an in situ befindlichen, blutdurchströmten, freiliegenden Froschherzen. — Auf einem ganz anderen Wege ist neuerdings Burridge[4]) zu einem ähnlichen Resultat gelangt. Wenn er das Froschherz zunächst mit einer anorganischen Säure (z. B. 0,5% HNO_3, H_2SO_4, HCl, H_3PO_4) und hinterher mit Ringerlösung durchspülte, so konnte er an diesem wiederhergestellten Herzen die

1) Einthoven, Le Télécardiogramme. Ondezoekingen in het Physiol. Labor. te Leiden 1908, S. 1—48.

2) Einthoven und Vaandrager, Weiteres über das Elektrokardiogramm. Pflüg. Arch. 1908, Bd. 122, S. 517.

3) Gotch, Capillary electrometer records of electrical changes during the natural beat of the frog's heart. (Prelim. Com.) Proc. of the Roy. Soc. 1907, London, S. B. Vol. 79, p. 323.

4) Burridge, Propagation of contraction in the frog's heart. Proceed. of the Physiol. Soc., June 29, 1912, in The Journal of Physiol. Vol. 45, August 2, 1912.

spontan auftretenden, langsamen Bewegungen genau beobachten. Die Kontraktionswelle lief hierbei vom rechten Vorhof zum linken, ging dann auf die Gegend des linken Atrioventrikularringes über, von wo aus sie auf zahlreichen bogenförmigen Bahnen bis wenige Millimeter unter den Aortenbulbus fortschritt. Nach Burridge scheint der äußerste Bogen mit der von Gotch angegebenen Erregungsbahn identisch zu sein. Natürlich fragt es sich noch, ob man die von Burridge beobachtete Erregungsleitung an einem durch Säure geschädigten Herzen ohne weiteres auf normale Verhältnisse übertragen darf.

Was Gotch für den Kaltblüter, hat Nicolai[1]) in demselben Jahre durch Beobachtungen am Saitengalvanometer für den Warmblüter (speziell Mensch und Hund) nachzuweisen versucht. Auf Grund seiner dabei erhaltenen Elektrokardiogramme sowie unter Berücksichtigung der Anatomie, Embryologie und Pathologie des Herzens, nimmt er für die Erregungswelle folgende Bahn an (s. S. 173—178): Von ihrer Ursprungsstelle, dem Sinusgebiet, geht die Erregung auf die Vorhöfe über[2]), deren Erregung die Zackengruppe *A* (*A* und *Ap*, also diphasischen Aktionsstrom) des Elektrokardiogramms hervorruft. Nachdem die Welle dann durch das atrioventrikuläre Verbindungsbündel (im Elektrokardiogramm ausgedrückt durch *h*) auf den Ventrikel übergegangen ist, wird anfangs im wesentlichen die venöse Strombahn (das Papillarsystem) und anschließend die arterielle Austreibungsbahn eingehalten (s. S. 172 oben). Von den Endausbreitungen des Hisschen Bündels gelangt nämlich die Erregung zunächst in den basalen Teil des Papillarsystems (*J*) und darauf absteigend zur Herzspitze (*Jp*). Falls sie aber im Purkinjeschen Reizleitungssystem sehr weit gegen die Spitze hinabgestiegen sein sollte, ehe sie das Papillarsystem ergreift, tritt noch eine Vorschwankung *Ja* auf, d. h. die Erregung durchläuft offenbar die freien Papillarmuskeln von ihrer Basis zur Spitze. *Ja*, *J* und *Jp* stellen zusammen die sog. Initialzacke, die erste Phase der Ventrikelschwankung, dar. Mittlerweile ist aber durch die Albrechtschen intramuralen Fasern das Treibwerk und durch den Ludwigschen Herzwirbel das Spiralsystem erregt worden; es werden also mittlere und äußere Schicht der Kammerwand nahezu gleichzeitig tätig (*t*), wobei die Kontraktionswelle an der Herzspitze beginnt

1) Kraus und Nicolai l. c.

2) Obgleich Nicolai in Fig. 38, S. 115, sowie auf S. 116 das sog. Wenckelbachsche Bündel (d. h. ein Verbindungsbündel zwischen V. cava und Atrium) erwähnt, nennt er es an dieser Stelle nicht, weshalb ich annehmen muß, daß er dessen Existenz bezweifelte. Auf Grund neuerer Untersuchungen muß man wohl zugeben, daß es tatsächlich kein derartiges spezifisches Muskelfaserbündel gibt. So sagt Hering S. 42 unten: »Keith und Flack, Aschoff und Koch, Mönckelberg sowie Fahr haben nicht nur eine, sondern einige Verbindungen zwischen dem Sinusknoten und der Cavamuskulatur gefunden . . .« Siehe Hering: Die Herzstörungen in ihren Beziehungen zu den spezifischen Muskelsystemen des Herzens. Verh. der Pathol. Ges. Jena 1912.

und zur Basis fortschreitet. Somit kehrt auch die Erregungswelle an der Herzspitze um und läuft, wie gesagt, durch die Fasern der arteriellen Austreibungsbahn zum basalen Teil, speziell nach der Gegend des conus arteriosus zurück. Es stimmt dieses vollkommen überein mit den Feststellungen von Rehfisch[1]) an freigelegten, blutdurchströmten Hundeherzen. Als Ausdruck der abermaligen Basisnegativität erklärt Nicolai die Finalzacke *T* des Elektrokardiogramms. Ihr folgt dann noch eine kurze horizontale Strecke *p*, welche der eigentlichen Herzpause entspricht. — Bei künstlicher Reizung des Ventrikels fanden Kraus-Nicolai, wie ehedem Marchand-Engelmann, daß der Grundtyp der anormalen Ventrikelschwankung stets ein diphasischer Aktionsstrom ist, wobei sich die Erregungswelle von jedem beliebigen Reizorte aus gleichmäßig im Herzen nach allen Richtungen hin ausbreiten kann.

Den Untersuchungen Herings[2]) verdanken wir die Feststellung, daß bei der Systole die Papillarmuskeln sich in der Regel vor der Kammerwand kontrahieren. Es greift also die durch das Hissche Bündel kommende Erregung zuerst auf die Papillarmuskeln über. Diese Beobachtung machte er an künstlich oder natürlich durchströmten, in situ belassenen Hundeherzen, indem er nach Eröffnung des rechten Ventrikels einerseits den Papillarmuskel, anderseits Basis oder Spitze suspendierte und die zugehörigen Kontraktionskurven gleichzeitig aufzeichnete. Mittels derselben Methode suchte er ferner an uneröffneten Hunde- und Kaninchenherzen die Bewegungen von Basis und Spitze darzustellen. Hierzu bemerkt er S. 234 u. 235: »Ich konnte jedenfalls vorläufig mich nicht davon überzeugen, daß die Spitze vor der Basis in Aktion ist . . . Deduktiv könnte man es für wahrscheinlich ansehen, daß der Zeitunterschied zwischen der Spitzen- und Basiskontraktion eines Ventrikels nur ein sehr geringer sein kann oder überhaupt fehlt, da ich festgestellt habe, daß die Kontraktion der Kammer bei den Papillarmuskeln beginnt und es nun einige Zeit erfordert, damit die Erregung zur Basis und zur Spitze gelangt. Nur insofern, als letzterer Weg wohl ein wenig kürzer ist, könnte die Spitze etwas früher in Aktion kommen als die Basis.«

Für die Erklärung des Elektrokardiogramms wurde von Eppinger und Rothberger[3]) die Methode herangezogen, gewisse Herzstellen funktionell auszuschalten und die hierdurch entstehenden Veränderungen mittels des Saitengalvanometers bei Ableitung vom Rektum und Ösophagus zu registrieren. An kuraresierten Hunden wurde zu dem Zwecke das Herz freigelegt und einzelne Teile durch Ausfrieren mit Chloräthylspray oder durch Injektion eiweißfällender Substanzen ($AgNO_3$, $HgCl_2$) außer Tätigkeit gesetzt. Wurde z. B. die Oberfläche des Ventrikels an irgendeiner Stelle

1) Rehfisch, Über die Ursprungsstelle der Ventrikelkontraktion. Berlin. klin. Wochenschr. 1907, Nr. 34.

2) Hering, Über den Beginn der Papillarmuskelkontraktion und seine Beziehung zum Atrioventrikularbündel. Pflüg. Arch. 1909, Bd. 126, S. 225.

3) Eppinger und Rothberger, Zur Analyse des Elektrokardiogrammes. Wien. klin. Wochenschr. 1909, Nr. 31.

abgekühlt (wirkte nur ca. 1 mm tief), so wurde im Elektrokardiogramm nur die Nachschwankung T, niemals aber R verändert gefunden. Hieraus schlossen sie, daß T nur an der Oberfläche, R dagegen in den nicht vom Spray betroffenen tieferen Schichten des Herzmuskels entsteht. Machten sie ferner eine Injektion in das Treibwerk des linken Ventrikels, einerlei ob an Basis oder Spitze, so fehlte in dem zugehörigen Elektrokardiogramm die S-Zacke oder war doch wenigstens verkümmert. Umgekehrt war nach Injektion in die Wand des rechten Ventrikels (der im Gegensatz zum linken der Hauptsache nach aus längsfaseriger Muskulatur besteht) der Anstieg der R-Zacke gering, dagegen trat eine große S-Schwankung auf. Hieraus folgerten sie, daß das Longitudinalsystem der Kammer den Anstieg der R-Zacke, das Treibwerk aber die S-Zacke (den Abstieg der R-Zacke) bedingt, und daß ferner mit dem Beginn von R auch die Erregung (-Kontraktion) im Ventrikel anfängt. — Auf Grund vorstehender Befunde stellen sich die beiden Autoren den Erregungsvorgang vor wie folgt: Nachdem die Erregung Vorhof und His'sches Bündel passiert hat und am Ende der Purkinje'schen Fasern angelangt ist (ausgedrückt durch die horizontale Strecke P–R im Elektrokardiogramm), ergreift sie die ganze Ventrikelmuskulatur nahezu gleichzeitig. Zunächst wird das Longitudinalsystem (Papillarsystem + äußere Spiralfasern) erregt, wodurch der jähe Anstieg der R-Zacke entsteht, kurze Zeit darauf das Treibwerk, weshalb die Kurve auch wieder zur Abszisse zurückkehrt. Der Ausdruck der nun bestehenden allseitigen Erregung ist im Elektrokardiogramm das auf der Nullinie verbleibende Intervall R–T. **Die Nachschwankung T wissen sie nicht zu deuten.**

Im Gießener Physiologischen Institut hat Clement[1]) mittels Differentialelektroden die Erregungsleitung im normalen, blutgefüllten, schlagenden Frosch- und Schildkrötenherz untersucht. Von seinen Befunden interessiert uns in diesem Zusammenhang vor allem, daß er eine zeitliche Differenz in dem Auftreten der negativen Schwankung in den einzelnen Differentialelektrokardiogrammen kaum feststellen konnte, mit anderen Worten: daß die Erregung (wenigstens was die äußere Muskulatur anbetrifft) nahezu gleichzeitig an verschiedenen Punkten der Herzoberfläche auftritt. Diese Tatsache steht im Gegensatz zu der Ansicht von verschiedenen der oben zitierten Autoren, welche behaupten, daß die normal vom Vorhof zugeleitete Erregungswelle sich im Ventrikel mit meßbarer Geschwindigkeit von Spitze zur Basis oder Basis zur Spitze fortpflanzt, und nähert sich den Angaben von Einthoven, Hering, Eppinger und Rothberger. Während Clement fand, daß am normal schlagenden Kaltblüterherzen alle Teile der Kammer nahezu gleichzeitig in Erregung gerieten, zeigte er in Übereinstimmung mit Marchand und Engelmanns Angaben, daß bei künstlicher Reizung sich eine Erregungswelle mit meßbarer Geschwindigkeit vom Reizorte aus fortpflanzte. Endlich bewies er, daß die Nachschwankung T an jedem Punkte der Ventrikeloberfläche entstehen kann. Um die Frage nach der

1) Clement l. c.

Anwendbarkeit seiner Ergebnisse auf das Warmblüterherz zu entscheiden, wurden nur einige diesbezügliche Vorversuche an Hunden und Kaninchen angestellt. An der Hand einiger guter Kurven gelangte er zwar zu demselben Resultat, doch betont er, daß die Differentialelektrogramme des Säugetiers infolge der weit größeren technischen Schwierigkeiten nicht jene bei Kaltblütern gefundene Gesetzmäßigkeit aufweisen.

Es war daher wohl lohnend, das Säugetierherz nach dieser Richtung hin einer genaueren Prüfung zu unterziehen. Herr Prof. Dr. Garten war so freundlich, mich mit dieser Aufgabe zu betrauen und mir dabei behilflich zu sein. Bevor ich aber auf die Versuchsresultate eingehe, ist es wohl angebracht, kurz die auch von mir angewandte Clementsche Differentialelektrodenmethode zu erwähnen.

Bekanntlich ist das Prinzip dieser Methode, den Aktionsstrom von zwei einander sehr nahen Punkten der Herzoberfläche mittels der sog. Differentialelektrode abzuleiten. Während Clement meistens einen winklig gebogenen, in Ringerlösung getränkten Baumwollfaden von ca. 0,8 mm Durchmesser benutzte, dessen Enden in unpolarisierbare Tonelektroden eingeknetet waren, und dessen Winkelspitze auf der Herzoberfläche ruhte (Berührungsstelle etwa 1 mm Durchmesser), ist eine solche Art der Ableitung, wovon ich mich selbst in Versuch V überzeugt habe, bei dem schnell, mit großen räumlichen Verschiebungen schlagenden Säugetierherzen fast unmöglich oder wenigstens unpraktisch. Ich ging daher von vornherein so vor, daß ich nach Clements Vorschlag die Winkelschleife des Baumwollfadens mittels sehr dünner Seide vorsichtig an das Epikard annähte (ohne dabei aber das Myokard stärker zu verletzen). Noch besser bewährte sich, wenn man, wie Herr Prof. Garten vorschlug, ein ca. 5 mm langes dünnes Glasstäbchen, das in der Mitte etwas dünner war, mit beiden Enden an das Epikard nähte und den Baumwollfaden darunter herführte. Auf diese Weise war es möglich, einmal die Differentialableitung mehrmals von ein und derselben Stelle vorzunehmen, anderseits durch Verschieben des Fadens unter dem Glasstabe den Ort des größten Saitenausschlages resp. die günstigste Faserrichtung zu ermitteln. Vorweg kann ich hier gleich erwähnen, daß, wie zu vermuten war, die

größten Saitenausschläge entstanden, wenn die Differentialelektrode in der Richtung des Herzfaserverlaufs lag; daher wurde in der Regel diese Lage gewählt.

Um aber auch ein Elektrogramm des ganzen Herzens, ein sog. Hauptelektrogramm zu erhalten, wurden zwei Hauptelektroden angelegt, deren jede aus einem Bausch von etwa fünf mit einer unpolarisierbaren Tonelektrode verbundenen Baumwollfäden bestand. Die obere Hauptelektrode wurde bisweilen einfach um die Herzwurzel geschlungen, häufiger jedoch oberhalb des rechten Vorhofs fixiert; die untere dagegen wurde meistens, ähnlich einer Differentialelektrode, an der eigentlichen Herzspitze befestigt. Im übrigen wurde ganz und gar die Clementsche Versuchsanordnung beibehalten, wie sie das Gießener Laboratorium gestattet; zwecks genauerer Orientierung verweise ich an dieser Stelle nochmals auf die Clementsche Arbeit. Zum Verständnis der reproduzierten Kurven möchte ich hier nur noch erwähnen, daß auch ich stets zwei Differentialelektroden (z. B. an Basis und Spitze) und beide Hauptelektroden anlegte und, da zwei Saitengalvanometer zur Verfügung standen, mittels einer besonderen Vorrichtung rasch und bequem je zwei verschiedene Kombinationen auf den Film des Photokymographions aufnehmen konnte. Die Haupt- und Differentialelektroden waren mit den Saitengalvanometern so verbunden, daß eine überwiegende Negativität einer der Basis näheren Stelle einer Hebung, eine der Spitze näheren Stelle einer Senkung der Saite entsprach. Um Zeitmessungen vornehmen zu können, registrierte eine Zungenpfeife 148 Schwingungen pro Sekunde am Fuße des Films; an derselben Stelle, zuweilen auch in der Mitte, markierte ein Jaquetscher Chronograph $^1/_5$ Sek.

Bei meinen Untersuchungen wurde den Tieren in Narkose (bei Hunden Morphium und Äther sowie während des Versuchs Kurare; bei Katzen A. C. E.-Mischung und Kurare) und bei künstlicher Atmung der Brustkorb eröffnet. Nach Unterbindung der Aa. mammariae int. und der Interkostalgefäße wurden das Brustbein und die vorderen Rippenenden reseziert. Darauf spal-

tete ich das Perikard in der Längsrichtung und nähte es beiderseits an die Brustwand an. Die nun folgende Befestigung der Elektroden an dem Herzen machte namentlich anfangs wegen der raschen und kräftigen Kontraktionen desselben einige Schwierigkeiten. Eine Messung der Temperatur des Tieres (unter dem Herzen) während der Versuche wurde zwar nicht vorgenommen, doch wird dieselbe nach Beobachtungen an späteren Versuchstieren durchschnittlich etwa 34° C betragen haben, zumal auch durch warmes Bedecken des Körpers Wärmeverlusten vorgebeugt wurde. Von auf diese Weise vorbereiteten Tieren gelang es, zahlreiche gute Differentialelektrogramme zu erhalten, die sich dazu eigneten, einerseits die Richtung der Erregung an verschiedenen Punkten des Herzens festzustellen, anderseits das zeitliche Verhalten der Negativitätswelle zu bestimmen. So habe ich Differentialelektrogramme abgeleitet von der Herzspitze, Mitte, rechter und linker Basis, sowie rechtem und linkem Herzohr[1]). Doch sind sämtliche Aufnahmen nur an der Vorderseite des Herzens gemacht, da die Rückseite des Ventrikels nur sehr schwer zugänglich ist. In ein und demselben Versuche sind die D. E. nur unter der Voraussetzung einander gleich, daß die Ableitungsstelle genau beibehalten wird. Sobald der Wollfaden unter dem Glasstäbchen ein wenig verschoben wird, müssen natürlich etwas abweichende Bilder auftreten. Zunächst möchte ich nun eine Übersicht über die Ergebnisse anführen, wie sie sich aus den am Schlusse der Arbeit angeführten Versuchstabellen ergibt.

Was die von mir am intakten Herzen erhaltenen H.-E. anlangt, so zeigen sie in Übereinstimmung mit den Beobachtungen

1) Der Kürze halber gestatte ich mir von nun an folgende Bezeichnungen:

D.-E. für Differentialelektrogramm;

H.-E. für Hauptelektrogramm;

Mitte für die vordere Ventrikelscheidewandgrenze, auf der die vordere Koronararterie verläuft, und wo bisweilen Differentialelektroden angelegt wurden; doch betone ich, daß diese Stelle nicht mit dem identisch ist, was Clement als Mitte bezeichnet.

früherer Forscher ziemlich wechselnde Formen. In jüngster Zeit hat besonders Samojloff[1]) erwähnt, daß beim Säugetier schon bei Ableitung der Aktionsströme von der Körperoberfläche, aber noch mehr bei direkter Ableitung vom Herzen Elektrogramme auftreten, welche unbeständiger, wechselvoller und komplizierter sind wie bei Kaltblutern. Auch Kraus-Nicolai[2]) und Kahn[3]) fanden bei ihren Untersuchungen am freiliegenden Hundeherzen, daß die Form des H.-E. variiert, weshalb sie die konstantere Kurven liefernde Ableitung vom intakten Tiere bevorzugten. Kahn z. B. gibt diesbezüglich an, daß alle 5 Zacken (P—T)[4]) eine andere Form annehmen können, am häufigsten jedoch R verkleinert und S erheblich vergrößert ist. Ein solches Verhalten zeigt in meinen Versuchen z. B. das H.-E. in Fig. 1, Tafel I (von Versuch X, Nr. 9, 13. XII. 1912), wo R und S eine große auf- und abgehende Doppelschwankung bilden. Diese Form ist in meinen Kurven ebenfalls die Regel, denn weit seltener treten Bilder auf wie in Fig. 2, Tafel I (Versuch VIII, Nr. 10, 5. XII. 1912). Daß in Fig. 1 vom Hunde eine negative T-Zacke auftritt, überrascht nicht, gibt doch Kahn[5]) an, daß auch bei Ableitung von intakten, ganz herzgesunden Hunden diese im Gegensatz zum Menschen so häufig ist, daß man die Negativität als etwas Normales bezeichnen muß. Desgleichen ist auch bei Katzen T häufig negativ. Da es sich bei meinen Untersuchungen nur um das D.-E. und seine Beziehung zum H.-E. handelt, kann ich hier auf die verschiedenen Varianten des H.-E. nicht näher eingehen.

Zunächst sei ein Beispiel angeführt, in welchem gleichzeitig oben das D.-E. der rechten Herzbasis und unten

1) Samojloff, Weitere Beiträge zur Elektrophysiologie des Herzens. Pflüg. Arch. 1910, Bd. 135, S. 417.

2) Kraus und Nicolai l. c.

3) Kahn, Beiträge zur Kenntnis des Elektrokardiogrammes. Pflug. Arch. 1909, Bd. 126, S. 197.

4) Kahn wendet die Einthovensche Nomenklatur an, die ich in Übereinstimmung mit Clement ebenfalls im folgenden benutzen werde.

5) Kahn, Die Störung der Herztätigkeit durch Adrenalin im Elektrokardiogramm. Pflüg. Arch. 1909, Bd. 129, S. 379.

das H.-E. aufgenommen sind. Es ist die schon erwähnte Fig. 1, Tafel I, welche mit der von Clement wiedergegebenen Kurve 4, Tafel I, nahezu übereinstimmt. Im D.-E. finden wir auch hier entsprechend der *R*-Zacke des H.-E. eine diphasische Schwankung mit inkongruenten Phasen. Der erste Gipfel, welcher steil nach oben ansteigt und ebenso zur Nullinie zurückkehrt, zeigt an, daß die Erregung in der Muskulatur der Basis spitzenwärts verläuft. Die zweite Phase ist bedeutend kleiner. Auf die Form der genannten Zacke des Basis-D.-E. komme ich später noch ausführlicher zu sprechen. Ferner bemerkt man in dem D.-E. der Fig. 1 eine flache, nach unten gerichtete, ziemlich lang andauernde, monophasische Schwankung, welche, der Lage nach zu urteilen, wohl in Beziehung zur *T*-Zacke des H.-E. stehen muß[1]). Beide sind in diesem Falle nach unten gerichtet (negativ). Eine Nebenschwankung tritt mehr oder weniger ausgeprägt fast in allen meinen D.-E. auf, nicht nur in denen der Basis, sondern auch in den D.-E. der Mitte, Spitze und selbst (wenn auch nur selten) der Herzohren. Bemerkenswert erscheint aber, daß dieselbe öfters der *T*-Zacke des H.-E. entgegengesetzt gerichtet ist. Ja sogar in ein und demselben Versuche kann die Nebenschwankung in einigen D.-E. der Kammer negativ, in anderen positiv auftreten (vgl. Vers. II, IV, VIII u. X der Tabellen auf S. 32—42). Von einer gesetzmäßigen Beziehung zwischen der *T*-Zacke im H.-E. und der Nebenschwankung des D.-E. kann also beim Warmblüter keine Rede sein; dasselbe hat Clement für den Kaltblüter nachgewiesen. Im übrigen schließe ich mich seinen auf S. 131—134 bezüglich *T*-Schwankung gemachten Ausführungen und Folgerungen an. Doch möchte ich als Ergänzung dazu an dieser Stelle die neueren Arbeiten von Hoffmann[2]) und

---

1) Im folgenden bezeichne ich die im Bereiche der *R*-Zacke des H.-E. liegende Zacke des D.-E. als Hauptschwankung, entsprechend die zweite Abszissenabweichung des D.-E. als Nebenschwankung, ohne jedoch mit diesen Namen irgend etwas erklären oder andeuten zu wollen. Ferner spitzenwärts = abwärts; basiswärts = aufwärts.

2) A. Hoffmann, Zur Deutung des Elektrokardiogramms. Pflüg. Arch. 1910, Bd. 133, S. 552.

Seemann[1]) anführen, welche u. a. Untersuchungen über die *T*-Zacke gemacht haben.

Um die Beziehungen zwischen dem Aktionsstrom und der Kontraktion des Herzens zu ermitteln, registrierte Hoffmann gleichzeitig das Elektrokardiogramm und mittels der Suspensionsmethode die Kontraktionskurve. Hierbei fand er, daß bei langer Dauer der Systole die *T*-Zacke später auftrat als bei kurzer Dauer; *R* blieb dagegen in beiden Fällen unverändert. Daraus schloß er, daß die Gruppe *R* (*Q*, *R*, *S*) ausschließlich der Ausdruck der Erregungsleitung im Herzen ist, und daß der nun folgende Abschnitt des Elektrokardiogramms, wie sich Hoffmann ausdrückt, der »Kontraktionswelle« entspricht. Während anfangs das Herz sich allseitig kontrahiert, die Resultante der einzelnen Potentialdifferenzen also gleich Null ist (im H.-E. ausgedrückt durch die Strecke *R*—*T*), befindet sich gegen Schluß der Systole nur die Basisgegend in Kontraktion[2]); es entsteht daher jetzt eine nach aufwärts gerichtete *T*-Schwankung. Eine negative *T*-Zacke soll vermutlich dann auftreten, wenn ausnahmsweise die Spitze später erschlafft als die Basis. — Während Hoffmann seine Untersuchungen an Säugetieren anstellte, studierte Seemann die Veränderungen, welche am Elektrokardiogramm des freigelegten, in situ befindlichen oder isolierten Froschherzens unter verschiedenen Versuchsbedingungen auftraten. Für die Anfangsschwankung (*R*) und die Nachschwankung (*T*) hat er manche interessanten Resultate angeführt, auf die einzugehen hier zu weit führen würde. Erwähnenswert ist aber, daß er die Anfangsschwankung als den Ausdruck der Erregungsleitung, die Nachschwankung als eine Begleiterscheinung des Kontraktionsvorganges auffaßt. Die Ansicht Straubs[3]), welcher die *T*-Zacke mit Stoffwechselvorgängen in Verbindung bringt, weist er zurück.

1) J. Seemann, Elektrokardiogrammstudien am Froschherzen. Zeitschr. f. Biol. 1912, Bd. 59.

2) Soweit ich aus der Darstellung Hoffmanns ersehen kann, stellt sich dieser Forscher vor, daß durch die »Kontraktion« eines Teiles zwischen diesem und einem nicht kontrahierten eine Potentialdifferenz hergestellt wird.

3) Straub, Zur Analyse des Elektrokardiogrammes (nach Versuchen am isolierten Froschherzen). Zeitschr. f. Biol. 1910, Bd. 53, S. 499.

In Fig. 2, Tafel I (Versuch VIII, Nr. 10, 5. XII. 1912) ist oben das D.-E. der linken Basis und unten das H.-E. wiedergegeben. Ich habe außerdem gerade dieses Bild gewählt, weil es im H.-E. die in der zugehörigen Tabelle VIII angegebene Veränderung aufweist, welche die bei den ersten Aufnahmen rein monophasische positive *T*-Zacke gegen Schluß des Versuches erfahren hat. Im D.-E. sehen wir die Nebenschwankung nur eben angedeutet (im Gegensatz zu Fig. 1), sie ist ganz flach, monophasisch und nach unten gerichtet. Offenbar ist die verschiedene Stärke der Nebenschwankung ähnlich wie die der Hauptschwankung auch davon abhängig, ob die Differentialelektrode mit einer sehr kleinen Fläche (punktförmig) oder, wie es zur Erhaltung größerer Kurven bisweilen nötig war, mit etwas breiterer Fläche (2—3 mm) der Herzwandung anlag. Ferner zeigt das obere Elektrogramm einen zweiphasischen Aktionsstrom, dessen erste größere Phase nach oben geht, d. h. die Erregung läuft im Herzen von der Basis aus nach abwärts. Eine noch vorhandene kleine, eben sichtbare, flache, positive Vorzacke deutet darauf hin, daß wahrscheinlich einige entferntere Muskelfasern früher in Tätigkeit geraten, in denen die Erregung ebenfalls abwärts geht. Eine im Bereiche der *P*-Zacke des H.-E. liegende Abszissenabweichung tritt weder in diesem noch in irgendeinem anderen Basis-D.-E. auf. — Was nun das zeitliche Auftreten des Aktionsstroms im H.-E. und Basis-D.-E. anbetrifft, so ist z. B. aus Fig. 1 zu entnehmen, daß die Hauptschwankung in den Abschnitt fällt, in dem auch die *R*-Zacke des H.-E. verläuft; dasselbe ist von der Nebenschwankung in bezug auf die *T*-Zacke zu sagen. Doch ist bemerkenswert, daß beide Schwankungen des D.-E. im gleichen Sinne gegen die entsprechenden Zacken des H.-E. verschoben sind. In genannter Fig. 1 verspätet sich der Beginn der Hauptschwankung gegen die entsprechende Stelle von *R* um 11 σ, d. h. es tritt die Erregung in der äußeren Muskulatur der Herzbasis um 11 σ später auf als der Aktionsstrom des H.-E.[1]). Eine Verspätung in diesem Sinne wurde ausnahmslos

1) Eine Erklärung hierfür gibt Garten, Skand. Archiv 1913, Bd. 29 S. 114.

bei allen Aufnahmen beobachtet, welche rechtes oder linkes Basis-D.-E. und H.-E. gleichzeitig zeigten, und zwar betrug ihr Wert durchschnittlich 16—21 σ. In Fig. 2 habe ich 35 σ herausgerechnet. Wie in diesem Falle, so will es mir auch bei den übrigen D.-E. der linken Basis scheinen, als ob die Zeitdifferenzen in dem Auftreten der Aktionsströme im H.-E. und D.-E. etwas (wenn auch nicht viel) größer sind als die beim rechten Basis-D.-E. Doch wird es sich wohl um eine rein zufällige Erscheinung handeln, die ohne praktische Bedeutung ist.

Während D.-E. und H.-E. hauptsächlich aus dem Grunde aufgenommen wurden, um die Zacken des D.-E. deuten zu können, habe ich anderseits weit häufiger zwei D.-E. gleichzeitig registriert, besonders zu dem Zwecke, die brennende Frage nach dem zeitlichen Auftreten der Erregung an den verschiedenen Stellen der Ventrikeloberfläche entscheiden zu können. — In Fig. 3, Tafel I (Versuch I, Nr. 4, 6. XI. 1912), lag z. B. die Differentialelektrode der unteren Kurve an der rechten Herzbasis, die der oberen an der Spitze des Ventrikels. Die Hauptschwankung des Basis-D.-E. zeigt eine steile, spitze, positive, große erste Phase und eine fast kaum sichtbare zweite Phase. Wie solche scheinbar einphasischen Kurven zustandekommen können, wurde von Clement (S. 136—137) ausführlich erörtert. In Übereinstimmung mit den schon erwähnten Basis-D.-E. (Fig. 1 u. 2) geht also auch in Fig. 3 die Erregung von der Basis aus abwärts. Dieselbe Richtung des Aktionsstromes tritt in den meisten Kurven auf, einerlei ob die Ableitung an der rechten oder linken Basis erfolgt, und stimmt mit dem von Clement beim Kaltblüter beobachteten Verhalten überein. Es gilt daher als Regel, daß die Differentialableitung von der rechten oder linken Herzbasis einen Aktionsstrom liefert, dessen erste viel stärkere Phase nach oben gerichtet ist, entsprechend einer von der Basis aus (wenigstens eine kurze Strecke weit) zur Spitze laufenden Erregung. Man kann also in diesen Fällen schon aus der Form der Kurve ihre Herkunft erkennen. Fast

immer ist die erste Phase höher als die zweite, und nur ausnahmsweise sind beide gleich groß. Häufig findet man vor der ersten Zacke eine kleine, meistens nach oben, seltener nach unten gerichtete Vorzacke (Fig. 2, Tafel I, Versuch VIII, Nr. 10, 5. XII. 1912; Fig. 4, Tafel I, Versuch IV, Nr. 12, 15. XI. 1912). Es würde dies, wie schon oben erwähnt, zu bedeuten haben, daß eine ganz kleine Zahl von Muskelfasern unter der betreffenden Differentialelektrode bereits eher in Erregung geriete. Geht die Vorzacke nach oben, so hätten wir es mit einer Erregungswelle von der Basis aus zu tun, ginge sie nach unten, so würde es sich um eine von der Spitze aus nach aufwärts gehende Welle handeln. Anderseits ist bei so kleinen Vorschlägen wie in den genannten Figuren die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, daß sehr starke Ströme von anderen Herzteilen durch Stromschleifenbildung für diese minimalen Ausschläge verantwortlich gemacht werden müssen. — Gar nicht selten tritt im Basis-D.-E. auch eine drei-, aber nur ausnahmsweise eine vierphasische Hauptschwankung auf, was C l e m e n t ebenfalls bei seinen an Hunden und Kaninchen angestellten Vorversuchen beobachtet hat. So zeigt Fig. 5, Tafel I (Versuch V, Nr. 5, 23. XI. 1912) oben das D.-E. der rechten Herzbasis und unten das der Spitze; beide sehen sich täuschend ähnlich. Die Hauptschwankung der oberen Kurve ist andeutungsweise dreiphasisch; zunächst kommt eine kleine, flache, positive Phase, dann eine große, steile, spitze, negative, gefolgt von einer kleinen, spitzen, positiven. Eine solche Form habe ich mehrfach erhalten. Faßt man die erste Phase als Vorzacke auf, d. h. als Ausdruck einer vorzeitigen Erregung (Richtung von der Basis aus abwärts) vereinzelter Muskelfasern, so ist auch dieser Aktionsstrom des Basis-D.-E. rein zweiphasisch, allerdings mit außerordentlich kleiner zweiter Phase. Es wird jedoch hier im Gegensatz zu der oben angeführten Regel die Erregung von der Spitze aus aufwärts geleitet. Da aber, wie ein Vergleich mit der unteren Kurve in Fig. 5 lehrt, auch im Spitzen-D.-E. die Erregung von der Spitze aus aufwärts geht, so kommt es, daß man in manchen Fällen durch bloße Betrachtung das Basis-D.-E. nicht diagnostizieren kann. — Interessant ist auch die vierphasische

Hauptschwankung der Fig. 6, Tafel II (Versuch VI, Nr. 1, 27. XI. 1912), bei der oberen Kurve, die der rechten Basis entspricht. Hier wird ebenfalls, wie in dem letzten Beispiel, die Erregung von der Spitze aus nach aufwärts geleitet. Die beiden kleinen Phasen zu Anfang wird man wohl darauf zurückführen müssen, daß die ableitende Differentialelektrode mit etwas größerer Fläche anlag. Sie sind vielleicht der Ausdruck dafür, daß die Erregung den einzelnen Fasergruppen zu sehr verschiedener Zeit zugeleitet wurde.

Was das Spitzen-D.-E. anbetrifft, so zeigt es wie das D.-E. der Basis eine Haupt- und Nebenschwankung. Die Hauptschwankung des Spitzen-D.-E. stellt, wie aus Fig. 3, Tafel I (Versuch I, Nr. 4, 6. XI. 1912), z. B. zu entnehmen ist, eine diphasische Kurve dar, die aus einer spitzen, ziemlich steilen, negativen, ersten und einer nahezu ebenso großen zweiten Phase besteht. In anderen Fällen ist aber meist die nach unten gerichtete Zacke am größten. Hieraus geht hervor, daß in der Muskulatur der Herzspitze die Erregung von der Spitze aus nach aufwärts läuft. Der Aktionsstrom schlägt also genau den umgekehrten Weg ein wie in den meisten Basis-D.-E. Da nach meinen bisherigen Beobachtungen alle Spitzen-D.-E. diese Richtung der Erregungswelle anzeigen, kann man aus der Kurve ohne weiteres die Ableitungsstelle ablesen; doch darf man nicht vergessen, daß auch das D.-E. der Basis bisweilen dasselbe Bild wie das der Spitze aufweisen kann. Bei Kaltblütern ist nach Clement eine sichere Unterscheidung viel leichter.

Nicht selten erhält man Kurven, in welchen der Hauptschwankung eine kleine, positive Vorzacke vorausgeht. Diese deutet an, daß einige unter der Differentialelektrode liegenden Muskelfasern früher erregt wurden, und zwar leiteten sie die Erregung abwärts; erst dann tritt eine von der Spitze aus ein Stück weit gegen die Basis laufende Erregungswelle auf (vgl. hierzu Fig. 5, Tafel I, Versuch V, Nr. 5, 23. XI. 1912 und Fig. 6, Tafel II, Versuch VI, Nr. 1, 27. XI. 1912).

Sehr interessiert hat natürlich das zeitliche Auftreten der entsprechenden Aktionsströme im Basis- und Spitzen-D.-E. Bisweilen ist eine solche Zeitmessung nicht leicht, da viele Zacken sich nicht scharf von der Abszisse abheben, anderseits kann man bei vorhandener oder angedeuteter Vorzacke im Zweifel sein, an welcher Stelle der Beginn der ersten Phase des Aktionsstromes zu suchen ist. Ich habe nun stets zunächst die erste Abweichung der Kurve von der Abszisse eingestellt und gemessen, einerlei ob eine Vorschwankung vorhanden war oder nicht. In den Fällen, in welchen eine Vorschwankung auftrat und man darüber streiten konnte, ob dieselbe als erste Phase oder als Vorzacke aufzufassen wäre, habe ich meistens noch eine zweite Messung am Ende derselben vorgenommen. Aus den so für die obere und untere Kurve erhaltenen Werten ließ sich berechnen, um wieviel Zeiteinheiten ($^1/_{1000}$ Sekunde $= 1\ \sigma$) der Aktionsstrom in dem einen D.-E. früher oder später auftrat als in dem anderen. Je nachdem man eine oder zwei Messungen vornahm, erhielt man auch eine oder zwei Zeitdifferenzen. In letzterem Falle sind beide in der Tabelle (unter Rubrik »Zeitmessung«) einfach nebeneinander gestellt; doch wurde der erste Wert eingeklammert, falls die Messung zu Anfang einer wirklichen Vorzacke geschah. — In Fig. 3 z. B. verspätet sich die Hauptschwankung des rechten Basis-D.-E. gegen die des Spitzen-D.-E. um 9 σ, d. h. die Erregung tritt an der Basis um 9 σ später auf als an der Spitze. — In Fig. 5 geht, wie schon erwähnt, sowohl in der oberen wie in der unteren Kurve der ersten Phase eine ganz geringfügige nach oben gerichtete Vorschwankung voraus. Aus der Tabelle des Versuchs V ist zu entnehmen, daß sich der Aktionsstrom der Basis gegen den der Spitze um 0 resp. $-2\ \sigma$ verspätet; d. h. die Vorschwankung beginnt in beiden Kurven zu gleicher Zeit, die erste Phase der Hauptschwankung verspätet sich aber im Basis-D.-E. um $-2\ \sigma$ gegen die des Spitzen-D.-E. (oder umgekehrt, die erste Phase tritt im Spitzen-D.-E. um $+2\ \sigma$ früher auf als im Basis-D.-E.). — In den meisten Fällen fand ich eine Verspätung der Basis gegen die Spitze um wenige σ, dagegen nur seltener eine Verfrühung. Die durchschnittliche

Verspätung betrug 7,1 3 σ, die durchschnittliche Verfrühung 4 σ. Jedenfalls sind diese Zeitdifferenzen sehr klein. Ja in manchen Kurven beginnen die Aktionsströme des Basis- und Spitzen-D.-E. vollkommen gleichzeitig. Es ist also wohl die Folgerung berechtigt, daß ebenso wie beim Kaltblüter (s. Clement) auch beim Warmblüter am spontan schlagenden Herzen die Erregung nahezu gleichzeitig an den genannten Punkten der Oberfläche des Ventrikels auftritt. Dieses steht im Gegensatz zu der Ansicht verschiedener schon früher erwähnter Forscher, welche für eine allmählich von der Basis zur Spitze oder von der Spitze zur Basis fortschreitenden Erregungswelle eintreten.

Einer Anzahl typischer Kurven ist Fig. 7, Tafel I (Versuch VII, Nr. 9, 2. XII. 1912) entnommen, welche ein Spitzen- D.-E. und H.-E. des Hundeherzens zeigt. Trotzdem die Differentialelektrode sehr spitz anlag, ist das D.-E. groß. Es weist wiederum die charakteristische diphasische Hauptschwankung auf mit einer hohen, nach unten gerichteten, ersten und kleinen zweiten Phase. Die Erregung geht demnach von der Spitze aus aufwärts. Ferner tritt eine flache, monophasische, nach oben gerichtete Nebenschwankung auf, welche also einen der *T*-Zacke des H.-E. entgegengesetzten Verlauf hat. Haupt- und Nebenschwankung scheinen ein wenig gegen die entsprechenden Zacken des H.-E. verschoben zu sein. Eine Messung ergibt, daß der Aktionsstrom im D.-E. um 28 σ später auftritt wie die *R*-Zacke im H.-E. Eine Verspätung in diesem Sinne tritt immer auf, und als Durchschnittswert habe ich 8,8—17,1 σ herausgerechnet. Beim Basis-D.-E. kann, wie schon früher gezeigt wurde, ein analoges zeitliches Verhalten beobachtet werden (durchschnittlich 16—21 σ). Man darf daher folgern, daß, im Gegensatz zu der Gleichzeitigkeit der D.-E. von Basis und Spitze, eine geringe Zeitdifferenz in dem Auftreten der *R*-Zacke im H.-E. und der Hauptschwankung des D.-E. der Basis oder Spitze besteht.

Um zu untersuchen, ob in der weiteren Nachbarschaft der Spitze auf der Ventrikeloberfläche noch dieselbe Richtung der

Erregungsleitung und dasselbe zeitliche Verhalten bestehen, habe ich in Versuch X mehrere Kurven einer Spitzen-differentialelektrode (Sp.-E.) aufgenommen, welche auf der linken Kammermuskulatur 12 mm von der eigentlichen Herzspitze entfernt lag. Ein so gewonnenes D.-E., wie es z. B. die obere Kurve in Fig. 8, Tafel I (Versuch X, Nr. 18, 13. XII. 1912) darstellt, ist dem schon besprochenen Spitzen-D.-E. sehr ähnlich. Auf eine kleine negative Vorzacke folgt ein diphasischer Strom, dessen erste Phase nach unten gerichtet ist. Es geht also genau wie an der Herzspitze selbst auch in ihrer Nachbarschaft die Erregung von der Spitze aus aufwärts. Die untere Kurve der genannten Figur ist unschwer als ein von der Basisgegend abgeleitetes D.-E. zu diagnostizieren, denn sie zeigt eine im Herzen abwärts laufende Erregungswelle an. In beiden D.-E. ist noch eine deutliche Nebenschwankung zu bemerken. — Es fragt sich noch, ob auch bezüglich des zeitlichen Verhaltens Übereinstimmung mit dem Spitzen-D.-E. und Basis-D.-E. besteht, d. h. ob sich auch in obiger Figur der Aktionsstrom des Basis-D.-E. gegen den des Sp.-E. — Differentialelektrogramms — verspätet. Da die vorhandene Vorzacke zwei Messungen nötig machte, so wurden auch zwei Zeitwerte erhalten, nämlich (14); —3. Dieses bedeutet, daß an der Basis-differentialelektrode die Erregung 14 σ später auftritt als an Sp.-E. (unter Berücksichtigung der Vorzacke). Erst mit dem Beginn der ersten Phase setzt die Haupterregung ein, und diese tritt in unserem Beispiel an Sp.-E. um 3 σ später auf wie an der Basisdifferentialelektrode. Legt man die entsprechenden Zeitdifferenzen der vorhandenen 5 Aufnahmen zugrunde, so erhält man eine durchschnittliche Verspätung des Aktionsstromes der Basis gegen den von Sp.-E. um (16,4) bzw. —1,8 σ. Der Zeitwert von —1,8 σ scheint mir nach dem oben Gesagten der richtigere zu sein; man muß also auch hier folgern, daß die Erregung an den genannten Punkten der Ventrikeloberfläche nahezu gleichzeitig auftritt.

Untersucht man ferner einen Punkt der Vorderfläche des Herzens, welcher über der vorderen linken Koronararterie resp.

Ventrikelscheidewandgrenze liegt, so erhält man eine Kurve, welche ich als Mitten-D.-E. bezeichnen möchte. Als typisches Beispiel für ein solches D.-E. kann die obere Kurve in Fig. 9, Tafel II (Versuch VIII, Nr. 15, 5. XII. 1912) angesehen werden. In dieser ist die Hauptschwankung rein diphasisch, bestehend aus einer positiven ersten und negativen kleinen, zweiten Phase. Die Erregung läuft also im Herzen abwärts, ebenso wie sich durch das D.-E. an der Basis nachweisen ließ. Die Nebenschwankung endlich ist in dem genannten Mitten-D.-E. negativ, in dem untenstehenden Spitzen-D.-E., welches leicht als solches zu erkennen ist, dagegen positiv. Bisweilen geht im Mitten-D.-E. der ersten Phase eine kleine, negative Vorzacke voraus. In Fig. 9 beginnen in beiden Kurven die Hauptschwankungen gleichzeitig; in vielen anderen Fällen verspätet sich jedoch der Beginn der Erregung an der Spitze gegen den an der Mitte um ein kleines Zeitteilchen (durchschnittlich 2 σ). Auch dies Ergebnis spricht für ein an verschiedenen Stellen der Kammeroberfläche gleichzeitig auftretende Erregungswelle.

Endlich habe ich öfters das D.-E. von den Vorhöfen resp. Herzohren, bisweilen auch in Verbindung mit dem H.-E. abgeleitet. Die Differentialelektrode wurde in der Regel wenige Millimeter vom äußeren Rande auf der Oberfläche des Ohres fixiert, und zwar möglichst in der Richtung der Muskelfasern. Wie zu erwarten ist, tritt in dem hier abgeleiteten D.-E. eine Schwankung im Bereiche der *P*-Zacke des H.-E. auf. So zeigt z. B. die obere Kurve der Fig. 10, Tafel II (Versuch VII, Nr. 4, 2. XII. 1912) an dieser Stelle zunächst einen kleinen Ausschlag der Saite nach unten an, dann einen größeren nach oben und zum Schluß wieder einen kleinen nach unten. Faßt man die erste Phase als Vorschwankung auf, so restiert eine diphasische Kurve, welche eine nach abwärts gehende Erregungsleitung anzeigt. Auf das Herz übertragen, würde also an der Ableitungsstelle eine Erregung nach dem freien Rande des Herzohres laufen. Der Gipfel der ersten Phase des Aktionsstromes in dem genannten D.-E. des rechten Herzohres kommt etwas früher als der der *P*-Zacke des H.-E. Anderseits beob-

achtet man beim D.-E. des linken Herzohres eine Verspätung gegen den Gipfel der Atriumschwankung. Von einer in das Bereich der *R*-Zacke des H.-E. fallenden Abszissenabweichung ist in der oberen Kurve nichts zu bemerken; sollte aber gelegentlich eine solche angedeutet sein, so würde dies auf eine nicht einwandfreie Ableitung schließen lassen, wie sie z. B. leicht am linken Ohr eintreten kann, wenn dieses nicht vom benachbarten Ventrikel isoliert wird. Ferner scheint mir im D.-E. noch eine ganz flache, gedehnte, positive Nebenschwankung angedeutet zu sein; übrigens habe ich eine solche nur vereinzelt beobachten können. — Häufig fehlt in dem D.-E. eine Vorschwankung, so daß rein diphasische Aktionsströme auftreten (vgl. Fig. 11, Tafel II, Versuch X, Nr. 4, 13. XII. 1912). Die obere Kurve, welche das D.-E. des linken Herzohres darstellt, zeigt an, daß die Erregung unter der Elektrode vom Grunde des Ohres weg nach der Spitze desselben verläuft; an der Differentialelektrode des rechten Herzohres, deren D.-E. die untere Kurve darstellt, erfolgt die Erregungsleitung ebenso. Der noch in beiden D.-E. vorhandene, nach unten gerichtete Ausschlag ist vielleicht als Nebenschwankung aufzufassen. Was das zeitliche Verhalten anbetrifft, so tritt die erste Zacke des D.-E. des linken Herzohres, wie man sich leicht überzeugen kann, etwas später auf als die entsprechende im D.-E. des rechten Ohres. Die Messung ergibt eine Differenz von 11 σ. In 17 Beispielen (der besondere Fall nach Durchschneidung der Nn. vagi in Versuch V ist nicht mit eingeschlossen) tritt eine Verspätung des linken gegen das rechte Herzohr um durchschnittlich 13,9—12,8 σ auf. Eine Messung zum Vergleich des Eintritts der Schwankung bei den Figuren mit H.-E. ergab durchschnittlich eine Verspätung der *R*-Zacke des H.-E. gegen den Aktionsstrom des linken Ohres um 74,8 bis 66,2 σ oder entsprechend gegen den des rechten Ohres um 89,8 bis 84,4 σ. Also auch beim Vergleich des H.-E. mit dem D.-E. des linken oder rechten Herzohres ergeben sich für die Verspätung des linken Ohres ähnliche Zeiten (durchschnittlich 15,0—8,2 σ), wie sie oben gefunden wurden. Auf die Sukzession des rechten

und linken Herzohres resp. Vorhofes hat Hering[1]) bereits aufmerksam gemacht und dieselbe auch zu erklären versucht.

Während alle bisher genannten D.-E. spontanen Schlägen des Herzens entsprechen, habe ich außerdem in einigen Fällen künstlich ausgelöste Kammerextrasystolen mittels der Differentialmethode abgeleitet. Zur Reizung diente ein einziger automatisch ausgelöster Induktionsschlag, welcher durch kurze angefeuchtete Baumwollfäden appliziert wurde, die meistens an Platinelektroden befestigt waren. Der elektrische Strom wurde von zwei Akkumulatoren geliefert, passierte einen Widerstand von 2 Ohm und gelangte zu einem Schlitteninduktorium, in dessen primäre Spule ein Eisenkern eingeschoben war. In Fig. 12, Tafel II (Versuch VII, Nr. 14, 2. XII. 1912) lag die Differentialelektrode der oberen Kurve an der rechten Basis, die der unteren an der Herzspitze. Die Reizung geschah ca. 5 mm von der Spitzendifferentialelektrode nahe der eigentlichen Herzspitze bei einem Rollenabstand von 2 cm (R.-A. 2). Zunächst ist in beiden Kurven der Reizmoment durch Stromschleifen gut markiert. Unmittelbar hinterher zeigt das Saitengalvanometer in dem Spitzen-D.-E. einen nach unten gerichteten Ausschlag an, d. h. es geht eine Erregungswelle von der Spitzendifferentialelektrode aus aufwärts. Die Bewegung der oberen Saite tritt aber, wie die Messung ergibt, 125 σ später auf und zeigt ebenfalls eine im Herzen aufwärts laufende Erregung an. Man muß also folgern, daß von der Reizstelle aus die Erregungswelle zunächst zur Spitzendifferentialelektrode und wesentlich später zur Basisdifferentialelektrode gelangt. Ferner bemerkt man in beiden D.-E. eine flache, langandauernde, negative Nebenschwankung, deren tiefste Stellen ebenfalls zeitlich erheblich verschoben sind. Endlich ist in Fig. 12 noch das D.-E. einer normalen Kammersystole bei Differentialableitung von der Basis resp. Spitze verzeichnet; in diesem Falle tritt die Erregung an der Basis aber nur um 1 σ später auf wie an der Spitze. — Fig. 13, Tafel II (Versuch X, Nr. 26, 13. XII. 1912) stellt oben das Spitzen- und

1) Hering, Experimentelle Studien an Säugetieren über das Elektrokardiogramm. Pflüg. Arch. 1909, Bd. 127, S. 155.

unten das Mitten-D.-E. dar. Zunächst zeigen beide Kurven den Aktionsstrom bei einem normalen Erregungsvorgang an. Sowohl oben wie unten tritt eine diphasische Schwankung auf, aus deren Phasenrichtung man leicht die Herkunft des D.-E. erkennen kann. Im Mitten-D.-E. geht der ersten Phase, welche eine spitzenwärts verlaufende Erregung anzeigt, eine kleine negative Vorschwankung voraus. Auch im Spitzen-D.-E. tritt vor der ersten nach unten gerichteten Phase des Aktionsstroms eine kleine, allerdings positive Vorschwankung auf. Wie man sich leicht überzeugen kann, treten die genannten Aktionsströme in beiden Kurven gleichzeitig auf, vielleicht verspätet sich der der Mitte um wenige σ gegen den der Spitze. Die Reizung wurde in der bekannten Weise vorgenommen, jedoch jetzt bei R.-A.-O. Die Kathode lag auf der rechten Ventrikelbasis ca. 15 mm von der Mittendifferentialelektrode entfernt. Der Abstand zwischen Mitten- und Spitzendifferentialelektrode betrug 37 mm. Kurz nach der Reizung zeigt die Saite des Galvanometers in der unteren Kurve einen nach oben gerichteten Ausschlag an; es läuft also die Erregung wie normal von der Basis aus abwärts. Im Spitzen-D.-E. tritt zunächst eine flache, gedehnte, nach unten gerichtete Vorschwankung auf, und erst viel später eine für das Spitzen-D.-E. typische diphasische Schwankung, deren erste Phase nach unten gekehrt ist. Sowohl Vorschwankung wie erste Phase zeigen also eine von der Spitze aus aufsteigende Erregungswelle an. Da aber von der Reizstelle aus die Erregung abwärts läuft, so muß man annehmen, daß sie nicht direkt sondern auf einem Umwege (vielleicht über die eigentliche Herzspitze) der Spitzendifferentialelektrode zugeleitet wird. Eine Messung ergab, daß die Erregung 87 σ gebraucht, um von einer Elektrode zur anderen zu gelangen. Auch die Gipfel der noch vorhandenen Nebenschwankungen sind zeitlich erheblich gegeneinander verschoben. Endlich zeigt die Figur noch in beiden Kurven den Aktionsstrom der ersten spontanen Systole nach der Reizung. Interessant ist nun, daß die Phasenrichtung bei beiden den vor der Reizung auftretenden Aktionsströmen genau entgegengesetzt ist. Es ist also die Fortleitung des Erregungsvorganges im Herzen bei dieser Systole

umgekehrt wie normal, was wahrscheinlich auf den applizierten elektrischen Reiz zurückzuführen ist. Eine solche Störung der normalen Leitung tritt nicht immer auf, was z. B. Nr. 27 und 32 (Versuch X), die unter ähnlichen Bedingungen aufgenommen wurden, mir beweisen. Übrigens tritt in Nr. 26 die Erregung an der Mittendifferentialelektrode bei der letzten normalen Systole um ca. 18 σ später auf wie an der Spitzendifferentialelektrode, falls man oben und unten von der ersten Abszissenabweichung aus rechnet.

Auffällig sind nun die großen Zeitdifferenzen, welche zwischen dem Auftreten der Erregung an der der Reizstelle näheren und entfernteren Elektrode bestehen. So beginnt in drei Beispielen die Erregung an der Spitze durchschnittlich 68 σ später wie an der gereizten Mitte, in drei anderen an der Mitte 102 σ später wie an der gereizten Spitze und endlich in drei Fällen an der Basis 129 σ später wie an der gereizten Spitze. Dies sind weit größere Werte, als wir sie bei doppelter Differentialableitung spontaner Herzschläge erhalten haben (durchschnittlich 7,1 bis —4 σ). Man muß also folgern, daß nach einem Induktionsschlag, einerlei wo derselbe appliziert wird, die Erregung zunächst an der der Reizstelle näher gelegenen Ableitungsstelle auftritt und allmählich zu der weiter entfernten Elektrode läuft. Es schreitet also die Erregung vom Reizorte aus nach allen Richtungen mit meßbarer Geschwindigkeit fort; dies deckt sich mit den oben erwähnten, schon von Marchand und Engelmann gemachten Angaben, die später mehrfach bestätigt worden sind. Während also bei der normalen Ventrikelsystole die Erregung gleichzeitig an allen Punkten der Kammeroberfläche auftritt, breitet sie sich bei der künstlich erzeugten Ventrikelextrasystole allmählich vom Reizorte aus.

Zusammenfassung.

Vorstehende Arbeit hatte den Zweck, die normale Richtung festzustellen, in der im Ventrikel des Warmblüterherzens die Erregung sich ausbreitet, und in engem Zusammenhange damit die

Frage zu beantworten, zu welchen Zeiten die Erregung an verschiedenen Stellen des Herzens auftritt. Freilich beziehen sich meine Versuche nur auf die Herzoberfläche, und es kommen daher in den D.-E. in der Hauptsache nur Potentialdifferenzen solcher Fasern zum Ausdruck, die an oder dicht unter der Oberfläche liegen. Um aber eine Ansicht über den normalen Vorgang des Erregungsablaufs in der Kammer äußern zu können, müßte die Differentialableitung auch an verschiedenen Punkten im Innern der Ventrikel angewendet werden, Versuche, wie sie im hiesigen Institut gleichzeitig von Schneiders in Angriff genommen worden sind. Ich muß mich also darauf beschränken, meine Befunde an Katzen- und Hundeherzen in folgende Sätze zu resümieren:

1. Die von Clement für den Kaltblüter gemachten Angaben konnte ich auch beim Warmblüter bestätigt finden.

2. a) Bei Differentialableitung von der rechten oder linken Herzbasis tritt in der Regel ein diphasischer Aktionsstrom auf, dessen erste größere Phase nach oben und dessen zweite kleinere nach unten geht, entsprechend einer von der Basis jedenfalls eine kurze Strecke weit gegen die Spitze laufenden Erregung. Nicht selten aber ist die erste Phase klein und die zweite groß, so daß das D.-E. Ähnlichkeit mit dem der Spitze bekommt; in diesen Fällen geht die Erregung im Herzen aufwärts. — Das D.-E. der Mitte hat stets die für das Basis-D.-E. typische Form, d. h. die erste Phase ist groß und nach oben gerichtet.

b) Desgleichen erhält man einen diphasischen Strom bei Ableitung von der eigentlichen Herzspitze oder ihrer näheren Nachbarschaft. Die erste Phase desselben zeigt stets nach unten und deutet eine von der Spitze aus aufwärts laufende Erregung an. Öfters geht der genannten Phase eine kleine positive Vorschwankung voraus.

c) Das D.-E. des rechten oder linken Herzohres weist immer eine diphasische Schwankung auf, deren erste Zacke nach oben gerichtet ist, entsprechend einer von der Basis des Herz-

ohres nach seiner Spitze laufenden Erregung. Nicht selten geht eine kleine negative Vorschwankung voraus.

3. Was das zeitliche Verhalten des Auftritts der Erregung an den verschiedenen Herzteilen anbetrifft, so gilt hier folgendes: Beim normalen Herzschlag tritt die Erregung an allen Punkten der Ventrikeloberfläche gleichzeitig auf, was die Kurven mit doppelter Differentialableitung vom Ventrikel beweisen. Dagegen läßt sich zwischen dem Auftreten des Aktionsstroms im D.-E. und H.-E. stets eine zeitliche Differenz feststellen in dem Sinne, daß das H.-E. dem D.-E. (z. B. von Basis oder Spitze) vorausgeht.

Bei Differentialableitung vom rechten und linken Herzohr zeigt sich, daß das linke Ohr stets um etliche σ später erregt wird als das rechte.

4. Im Gegensatz zu dem fast gleichzeitigen Eintritt der Erregung bei der normalen Systole beobachtet man in den D.-E., welche einer künstlich erzeugten Extrasystole entsprechen, daß die Erregung von der Reizstelle aus zunächst zu der ihr näheren, dann zur entfernteren Differentialelektrode gelaufen ist. Die Erregung pflanzt sich also in diesem Falle vom Reizorte aus allmählich nach allen Punkten der Ventrikeloberfläche fort. Es ist dieses ein guter Beweis für die Brauchbarkeit der angewendeten Differentialmethode.

Für die Anregung und liebenswürdige, selbstlose Unterstützung bei meinen Versuchen, sowie für die Überlassung des Laboratoriums spreche ich an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. Garten meinen besten Dank aus. Ebenso danke ich Herrn Dr. Sulze für seine Beihilfe, desgleichen für seinen zu jeder Zeit bereitwilligst erteilten Rat.

Protokolle.

Versuch I. 6. XI. 1912.

Katze. Nach entsprechender Vorbereitung erfolgte die Fixierung der Differentialelektroden. Die Basisdifferentialelektrode (= B.-E.) wurde mittels Seidenfadens auf der Vorderfläche des rechten Ventrikels ca. 10 mm von der Atrioventrikulargrenze angenäht. Die Spitzendifferentialelektrode (= S.-E.) lag in allen 10 Versuchen auf der linken Ventrikelwandung; in Versuch I war sie ca. 5 mm von dem apex cordis entfernt fixiert. Die Entfernung der beiden Differentialelektroden voneinander betrug etwa 28 mm.

Nr. der Kurve	Obere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Untere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Zeitmessung in σ
	D.-E. der				
1	r. Basis	↑	H.-E.		Verspät. d. Basis geg. H.-E. = 10
2	r. Basis	↑	H.-E.		do.
3	Spitze	↑	H.-E.		Verspät. d. Spitze geg. H.-E. = 6
*4 Fig. 3	Spitze	↑	r. Basis	↑	Verspät. d. Basis geg. Spitze = 9
6	Spitze	↑	r. Basis	↓	do. = 6
7	r. Basis	↑	H.-E.		Verspät. d. Basis geg. H.-E. = 5
8	Spitze	↑	H.-E.		Verspät. d. Spitze geg. H.-E. = 5
9	Spitze	↑	H.-E.		do.

Anmerkung. *T* ist in sämtlichen H.-E. nach unten gerichtet; dagegen ist die entsprechende Nebenschwankung in allen D. E. positiv. — In den mit »Erregungsrichtung im Herzen« überschriebenen Spalten habe ich durch Pfeile die Richtung angegeben, in welcher der Aktionsstrom bei nebenstehender Differentialableitung verlief. Natürlich zeigt das D.-E. eine der Pfeilrichtung genau entgegengesetzt verlaufende Zacke. Geht der Hauptschwankung eine Vorzacke vorauf, so wird die von letzterer angedeutete Erregungsrichtung durch einen gestrichelten Pfeil markiert. Ferner habe ich hier sowie in allen folgenden Tabellen die reproduzierten Kurven durch einen Stern bezeichnet.

Versuch II. 11. XI. 1912.

K a t z e. Mittels eines dünnen Seidenfadens wurden alle Differentialelektroden angenäht. B.-E. d e s r e c h t e n V e n t r i k e l s 8 mm von der Atrioventrikulargrenze und 6 mm vom conus pulmonalis. B. E. d e s l i n k e n V e n t r i k e l s 8 mm von der Atrioventrikulargrenze und 6 mm von der vorderen linken Koronararterie. S.-E. 4 mm oberhalb der eigentlichen Herzspitze mehr nach der Ventrikelscheidewand zu.

Nr. der Kurve	Obere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Untere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Zeitmessung in σ
	D.-E. der				
1	Spitze	↑ ↑	H.-E.		Versp. d. Spitze g. H.-E. = (10)24
2	l. Basis	↓ ↓	H.-E.		Verspät. d. Bas. g. H.-E. = (8)21
3	l. Basis	↓	Spitze	↑	Verspät. d. Basis geg. Spitze = 1
4	l. Basis	↓ ↓	H.-E.		Verspät. d. Bas. g. H.-E. = (8)21
5	Spitze	↑ ↑	H.-E.		Verspät. d. Spitze g. H.-E. = (8)21
6	Spitze	↑ ↑	l. Basis	↑ ↓	Verspät. d. Bas. g. Spitze = (1) 8[1])
7	Spitze	↑ ↑	r. Basis	↓	Verspät. d. Basis g. Spitze = (8)–5

1) B.-E. lag, mittels Glasstäbchen angedrückt, breit an.

A n m e r k u n g. *T* ist im H.-E. stets positiv, auffällig groß und beginnt in manchen Fällen nicht von der Abszisse, sondern geht direkt aus dem absteigenden Schenkel der *R*-Zacke hervor. Desgleichen ist die Nebenschwankung in D.-E. der Spitze und rechten Basis positiv, dagegen in denen der linken Basis negativ.

Versuch III. 12. XI. 1912.

K a t z e. Zur Fixierung der Differentialelektroden wurden Glasstäbchen verwendet. B.-E. d e s r e c h t e n V e n t r i k e l s 15 mm von der Atrioventrikulargrenze und 11 mm von der A. coronaria sin. B.-E. d e r l i n k e n K a m m e r 18 mm von der Atrioventrikulargrenze und 17 mm von der A. coron. sin. S. E. 5 mm etwa oberhalb der eigentlichen Herzspitze mehr nach dem rechten Ventrikel zu.

Nr. der Kurve	Obere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Untere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Zeitmessung in σ
	D.-E. der				
1	Spitze	↓ ↑	H.-E.		Verspät. d. Spitze g. H.-E. = 0; 12
2	r. Basis	↓ ↑	H.-E.		Verspät. d. Basis geg. H.-E. = 14
3	Spitze	↓ ↑	r. Basis	↓ ↑	Verspät. d. Basis g. Spitze = 8; 1
4	Spitze	↓ ↑	r. Basis	↑	do. = 6; 0
5	Spitze	↓ ↑	H.-E.		Verspät. d. Spitze g. H.-E. = 1; 11
6	r. Basis	↓ ↑	H.-E.		Verspät. d. Basis geg. H.-E. = 12
7	l. Basis	↓	H.-E.		do. = 20

Anmerkung. Im H.-E. ist T negativ, desgleichen in allen D.-E.

Versuch IV. 15. XI. 1912.

Katze. Differentialelektroden mittels Glasstäbchen fixiert. B.-E. des rechten Ventrikels 11 mm von der Atrioventrikulargrenze und 14 mm von der A. coron. sin.; B.-E. des linken Ventrikels entsprechend 9 und 11 mm. S.-E. 7 mm oberhalb der eigentlichen Herzspitze.

Nr. der Kurve	Obere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Untere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Zeitmessung in σ
	D.-E. der				
1	Spitze	↑	H.-E.		Versp. d. Spitze g. H.-E. = (4); 17
2	l. Basis	↓	H.-E.		Verspät. d. Basis geg. H.-E. = 30
3	l. Basis	↓	Spitze	↓ ↑	Verspät. d. Basis g. Spitze = 10
4	Spitze	↑	H.-E.		Versp. d. Spitze g. H.-E. = (6); 18
5	l. Basis	↓	H.-E.		Verspät. d. Basis geg. H.-E. = 29
6	Spitze	↑	l. Basis		Verspät. d. Basis geg. Spitze = 9
7	Spitze	↑	l. Basis	↓	do.
8	Spitze	↑	r. Basis	↑	do. = (9); 2
9	Spitze	↑	r. Basis	↑	do.
10	Spitze	↑	r. Basis	↑ ↑	do. = (10); 2
11	Spitze	↑	l. Basis	↓ ↓	do. = 8
*12 Fig. 1	Spitze	↑	l. Basis	↓	do.
13	Spitze	↑	H.-E.		Verspät. d. Spitze g. H.-E. = 20
14	l. Basis	↓	H.-E.		Verspät. d. Basis geg. H.-E. = 32
15	l. Basis	↓	Spitze	↑	Verspät. d. Basis geg. Spitze = 13

Anmerkung. Die T-Zacke ist im H.-E. negativ. Die entsprechende Nebenschwankung ist in den D.-E. der linken und rechten Basis positiv, jedoch negativ in dem D.-E. der Herzspitze.

Versuch V. 28. XI. 1912.

Katze. Die Differentialelektroden wurden nicht angenäht, sondern die Baumwollfaden möglichst spitzwinklig an verschiedenen Stellen der Herzoberfläche aufgesetzt.

Nr. der Kurve	Obere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Untere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Zeitmessung in σ	Bemerkungen
1	D.-E. der Spitze		H.-E.		Verspät. der Spitze gegen H.-E. = 13	S.-E. liegt 3 mm oberhalb der eigentl. Herzspitze ca. 2 mm breit an, ist von rechts unten schwach nach links oben gerichtet. Die B.-E. des linken Ventrikels, 13,3 mm von S.-E. entfernt, liegt 3 mm breit an, parallel zu einem Nebenast der A. coron. sin., welcher in der Höhe der A. pulmon. entspringend über den linken Ventrikel verläuft.
2	l. Basis		H.-E.		Verspät. der Basis gegen H.-E. = 5	
3	l. Basis	↑ ↓	Spitze		Verspät. der Basis g. Spitze (−9); 14	S.-E. liegt 2,5 mm an in der Richtung der Herzachse. Die linke B.-E., nahe der Atrioventrikulargrenze und dem linken Herzohr und 22 mm von der S.-E. entfernt; liegt ebenfalls in der Richtung der Herzachse 3 mm weit an.
4	l. Basis		Spitze		Verspät. der Basis geg. Spitze (8); 2	
*5 Fig. 5	r. Basis	↓ ↑	Spitze		Verspät. der Basis geg. Spitze 0; −2	Die Lage der S.-E. bleibt dieselbe. Die rechte B.-E. berührt 2,5 mm weit rechts von der A. pulmon. und 20 mm von der S.-E. entfernt
6	r. Basis	↓ ↑	Spitze		Verspät. der Basis geg. Spitze 0; −2	Da das Herz bei diesen beiden Aufnahmen nur noch ganz langsam und periodisch schlägt, werden nach der 6. Aufnahme beide Nn. vagi durchschnitten.
7	r. Basis	↓	Spitze		Verspät. der Basis gegen Spitze −8	S.-E. an derselben Stelle. B.-E. aber auf der Mitte des rechten Ventr. angelegt, ca. 10,5 mm von S.-E. entf. in Herzfaserricht.
8	l. Ohr	↓	r. Ohr	↓	Verspät. d. l. Ohres g. rechtes = 68	Die Differentialelektrode des rechten Herzohres ist so gerichtet, daß sie mit der Herzachse einen Winkel von etwa 30° bildet; sie läuft von links oben nach rechts unten. Die Differentialelektrode des linken Ohres läuft ihr parallel.
9	r. Ohr	↑ ↓	H.-E.		Verspät. d. Ohres geg. H.-E. (39); 78	
10	l. Ohr	↑ ↓	H.-E.		Verspät. d. Ohres geg. H.-E. (39); 62	

Anmerkung. Die *T*-Zacke ist im H.-E. negativ, desgleichen die Nebenschwankung in den D.-E. In den

Versuch VI. 27. XI. 1912.

Hund. In diesem sowie in allen folgenden Versuchen wurden die Differentialelektroden mittels Glasstäbchen fixiert. In Nr. 1 u. 2 verwandte ich eine B.-E., welche 34 mm von der A. coron. sin. entfernt und nahe dem conus pulmon. auf dem rechten Ventrikel lag; ihr Abstand von der S.-E. betrug 84 mm (resp. 92 mm im Bogenmaß). In Nr. 4 u. 5 dagegen lag die B.-E. 10 mm von der Atrioventrikulargrenze, 20 mm unter der eben genannten B.-E., 46 mm von der A. coron. sin. und 72 mm von der S.-E. Die S.-E. war 22 mm von der eigentlichen Herzspitze entfernt.

Nr. der Kurve	Obere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Untere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Zeitmessung in σ
*1 Fig. 6	D.-E. der r. Basis	↓ ↓ ↑	Spitze	↓ ↑	Verspätung der Basis gegen Spitze = 1
2	r. Basis	↓ ↓ ↑	H.-E.		Verspätung der Basis gegen H.-E. = 8
3	Spitze	↓ ↑	H.-E.		Verspätung der Spitze gegen H.-E. = 10
4	r. Basis	↓ ↓ ↑	Spitze	↓ ↑	Verspätung der Basis gegen Spitze = 1
5	r. Basis	↓ ↓ ↑	H.-E.		Verspätung der Basis gegen H.-E. = 10
6	Spitze	↓ ↑	H.-E.		Verspätung der Spitze gegen H.-E. = 6

Anmerkung. Die *T*-Zacke des H.-E. ist ebenso wie die Nebenschwankung des D.-E. nach abwärts gerichtet.

Versuch VII. 2. XII. 1912.

Hund. Alle Differentialelektroden lagen in der Richtung der Herzachse und wurden mittels Glasstäbchen befestigt. S.-E., M.-E. und B.-E. lagen auf einer Geraden. Unter M.-E. verstehe ich hier die Mittendifferentialelektrode, welche auf der Ventrikelscheidewandgrenze resp. über der vorderen linken Koronararterie gelegen war. S.-E. war von der eigentlichen Herzspitze nur 9 mm entfernt, von M.-E. aber 25 mm und von der auf der rechten Kammerwandoberfläche fixierten B.-E. 51 mm. Außerdem wurden Differentialelektroden am rechten und linken Herzohr angebracht, und zwar wenige Millimeter vom Ohrrande entfernt.

Nr. der Kurve	Obere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Untere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Zeitmessung in σ	Bemerkungen
	D.-E. des					
1	l. Ohr	↑ ↓	r. Ohr	↑ ↓	Verspätung des linken Ohres gegen das rechte = 31 : 30	Um den Aktionsstrom des linken Ohres einwandfrei ableiten zu können, mußte das Herz mit dem Finger etwas zurückgehalten werden.
2	l. Ohr	↑ ↓	r. Ohr	↑ ↓	do. = 19 : 26	
3	l. Ohr	↑ ↓	H.-E.		Verspätung des H.-E. gegen linkes Ohr = 100; 88	
*4 Fig. 10	r. Ohr	↑ ↓	H.-E.		Verspätung des H.-E. gegen rechtes Ohr = 120; 115	
5	l. Ohr	↑ ↓	r. Ohr	↑ ↓	Verspätung des linken Ohres gegen das rechte = 10; 17	
6	r. Ohr	↓	l. Ohr	↓	do. = 20	Das linke Herzohr kontrahierte sich nur ganz schwach.

7	r. Basis	↓ ↑	Spitze	↑	Verspätung der Basis gegen die Spitze = 7	
8	r. Basis	↓ ↑	H.-E.		Verspätung der Basis gegen H.-E. = 17	
*9 Fig. 7	Spitze	↑	H.-E.		Verspätung der Spitze gegen H.-E. = 28	Trotz sehr spitzer Ableitung ist das Spitzen-D.-E. sehr groß.
10	r. Basis	↓ ↑	Spitze	↑	Verspätung der Basis gegen Spitze = —8	In Nr. 10—12 wurde mechanische Reizung angewandt, ohne jedoch eine Extrasystole zu erhalten. Bemerkenswert ist aber, daß nach dem Reiz in Nr. 11 u. 12 eine Umkehrung der Erregungsrichtung eingetreten ist. Ich habe die Kurven aber zur Bestimmung der Zeitdifferenz zwischen Basis und Spitze benutzen können.
11	r. Basis	↓ ↑	Spitze	↑	do. = —8	
12	r. Basis	↓ ↑	Spitze	↑	do. = —8	
13	r. Basis	↓ ↑	Mitte	↓	Verspätung der Basis gegen Mitte = —5; 15	
*14 Fig. 12	r. Basis	↓ ↑	Spitze	↓	Verspätung der Basis gegen die gereizte Spitze = 125 Ohne Reizung nur 1	In Nr. 14—18 fand elektrische Reizung ca. 5 mm von der S.-E. entfernt statt. R.-A. 2.
15	r. Basis	↑	Spitze	↓ ↑	Verspätung der Basis gegen Spitze = (20); 0	
17	r. Basis	↓ ↑	Spitze	↑	Verspätung der Basis gegen die gereizte Stelle = 157	Herz schlug nur noch langsam. R.-A. 0.
18	r. Basis	↑	Spitze	↑	do. = 106	R.-A. 0.
19	r. Basis	↓	Spitze	↑ ↓	Verspätung der Spitze gegen die gereizte Basis = 183	Elektrische Reizung ca. 6 mm rechts von der B.-E. R.-A. 0.

Anmerkung. Die *T*-Zacke ist in den H.-E. stets negativ; dagegen tritt die Nebenschwankung in den vom Ventrikel abgeleiteten Differentialelektrogrammen positiv auf.

Versuch VIII. 5. XII. 1912.

Hund. Als untere Hauptelektrode wurde bei der 2. und 3. Aufnahme ein Bausch von Wollfaden benutzt, welcher mittels eines Seidenfadens auf dem linken Ventrikel 34 mm von der eigentlichen Herzspitze und 36 mm von der A. coron. sin. angenäht wurde. In Nr. 6 u. 7 dagegen wurde statt der genannten eine Hauptelektrode gewählt, die durch einfaches Unterschieben des Bausches unter die Herzspitze hergestellt war. Doch in allen folgenden Aufnahmen wurde wieder die ursprüngliche Hauptelektrode verwendet. Was die Differentialelektroden anbetrifft, so wurden fixiert: eine Differentialelektrode am rechten und eine am linken Herzohr; eine S.-E. an der eigentlichen Herzspitze; eine M.-E. 32 mm von S.-E. entfernt; eine rechte B. E., welche 41 mm von M.-E. und 25 mm von der A. coron. sin. nahe dem conus pulmon. lag.

Nr. der Kurve	Obere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Untere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Zeitmessung in σ	Bemerkungen
	D.-E. des					
1	l. Ohr	↑	r. Ohr	↑ ↓	Verspät. d. linken Ohres g. d. rechte = 21; 25	
2	l. Ohr	↑	H.-E.		Verspät. d. H.-E. g. d. linke Ohr = 55; 47	
3	r. Ohr	↑ ↓	H.-E.		Verspät. d. H.-E. g. rechtes Ohr = 78; 71	
4	r. Ohr	↓	l. Ohr	↑ ↓	Verspät. d. linken Ohres g. d. rechte = 18; 22	Die Differentialelektroden des rechten u. linken Herzohres lagen breit an ca. 4 mm.
5	l. Ohr	↑ ↓	r. Ohr	↑ ↓	do. = 23; 30	
6	l. Ohr	↑ ↓	H.-E.		Verspät. d. H. E. g. d. Ohr = 55; 46	
7	r. Ohr	↑ ↓	H.-E.		do. = 82; 75	
8	l. Ohr	↑	r. Ohr	↑ ↓	Verspät. d. linken Ohres g. d. rechte = 25; 30	
9.	l. Basis	↓	Spitze	↓	Verspät. d. Basis g. Spitze = 9	
*10 Fig. 2	l. Basis	↓ ↓	H.-E.		Verspät. d. Basis g. H.-E. = 44	

11	Spitze	↓	H.-E.		Verspät. d. Spitze g. H.-E. = 27		
12	Spitze	↓	l. Basis	↓	Verspät. d. Basis g. Spitze = 10		
13	r. Basis	↓	Spitze	↑	do. = −3		
14	r. Basis	↓	Spitze	↑	do. = 0		
*15 Fig. 9	Mitte	↓	Spitze	↑	Verspät. d. Mitte g. Spitze = 0		
16	Mitte	↓	Spitze	↑	do. = 0		
17	l. Ohr	↑ ↓	r. Ohr	↓	Verspät. d. linken Ohres g. d. rechte = 4; 9		
18	l. Ohr	↑ ↓	r. Ohr	↓	do. = 4; 0		
19	r. Basis	↓	Spitze	↑	Verspät. d. Basis g. Spitze = 0		
20	r. Basis	↓	Spitze	↑	do. = 0	B.-E. sehr breit anliegend.	
21	r. Basis	↓	Spitze	↑	do. = 0		
22	r. Basis	↓ ↓	Spitze	↑	do. = 0		

Anmerkung. In diesem Versuch tritt die Eigentümlichkeit auf, daß die *T*-Zacke des H.-E. im Laufe des Versuches ihre Form wechselt. Während *T* in den Kurven 2 und 3 ausgesprochen positiv und einphasisch ist, tritt in Nr. 6 u. 7 schon eine andere Form auf; doch ist die Zacke immer noch nach oben gerichtet. Diese Änderung könnte man vielleicht darauf zurückführen, daß bei den beiden zuletzt genannten Aufnahmen eine andere untere Hauptelektrode gewählt wurde. Trotzdem nun bei Ableitung von Kurve 10 und 11 die ursprüngliche untere Hauptelektrode wieder verwendet wurde, tritt hier jedoch keine positive einphasische *T*-Zacke auf, sondern eine deutlich diphasische. Beide Phasen sind nahezu gleich groß, und der erste Gipfel ist nach oben gerichtet. Desgleichen wechselt die Nebenschwankung der D.-E. in ihrer Form; während die des Basis-D.-E. und Mitten-D.-E. meist negativ ist, zeigt das Spitzen-D.-E. in der Regel einen nach oben gerichteten Ausschlag der Saite des Galvanometers an.

Versuch IX. 12. XII. 1912.

Hund. Es wurde je eine Differentialelektrode am rechten und linken Herzohr mittels Glasstäbchen fixiert.

Nr. der Kurve	Obere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Untere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Zeitmessung in σ	Bemerkungen
	D.-E. des					
1	l. Ohr	↑ ↓	r. Ohr	↑ ↓	Verspät. d. link. Ohres g. d. rechte = 0; 6	Die linke Differentialelektrode lag 5 bis 10 mm vom Rande des Herzohres entfernt. Ihre Kontaktlänge betrug wie die der rechten 2 mm.
2	l. O r	↑ ↓	H.-E.		Verspät. d. H.-E. g. Ohr = (82); 68	
3	r. Ohr	↑ ↓	H.-E.		do. = 89; 80	
4	l. Ohr	↓	r. Ohr	↑ ↓	Verspat. d. l. Ohres g. d. rechte = 19; 11	Die Kontaktlänge der linken Differentialelektrode betrug etwa 3 mm. Sie lag fast am Rande des Ohres.
5	l. Ohr	↓	r. Ohr	↑ ↓	do. = 12; 13	
6	l. Ohr	↓ ↓	H.-E.		Verspat. d. H.-E. g. Ohr (88); 82	Rechte und linke Differentialelektrode liegen nur 2 mm an.
7	r. Ohr	↑ ↓	H.-E.		do. = 90; 81	

Anmerkung. Die *T*-Zacke ist im H.-E. positiv.

Versuch X. 13. XII. 1912.

Hund. Mittels Glasstabchen wurden alle 6 Differentialelektroden befestigt. S.-E. an der eigentlichen Herzspitze. B.-E. des linken Ventrikels 18 mm von der A. coron. sin. entfernt. M.-E. uber der A. coron. sin. B.-E. der rechten Kammer 36 mm von der A. coron. sin. und 42 mm von M.-E. entfernt. In der Nachbarschaft der Herzspitze eine weitere Spitzendifferentialelektrode (— Sp.-E.), welche von S.-E. einen Abstand von 12 mm hatte, von M.-E. 37 mm und von l. B.-E. 63 mm. Endlich eine Differentialelektrode am rechten und linken Herzohr.

Nr. der Kurve	Obere Kurve	Schwankungsrichtung im Herzen	Untere Kurve	Schwankungsrichtung im Herzen	Zeitmessung in σ	Bemerkungen
	D.-E. des					
1	l. Ohr	↑ ↓	r. Ohr	↓	Versp. d. l. Ohres g. rechtes = 8	
2	l. Ohr	↑ ↓	H.-E.		Verspät. d. H.-E. g. Ohr = 69	
3	r. Ohr	↓	H.-E.		do. = 80	
*4	l. Ohr	↑ ↓	r. Ohres	↓	Versp. d. l. Ohres g. rechtes = 11	
Fig. 11.						
5	l. Ohr	↑ ↓	r. Ohres	↓	do. = 8	
6	l. Ohr	↑ ↓	r. Ohres	↓	do. = 4	
7	Spitze	↓ ↑	r. Basis	↓ ↓	Versp. d. Basis g. Spitze = 6; 10	
8	Spitze	↓ ↑	H.-E.		Versp. d. Spitze g. H.-E. — 3; 14	
*9	r. Basis	↓	H.-E.		Verspät. d. Basis g. H.-E. = 11	
Fig. 1.						
10	Spitze	↓ ↑	Sp.-E.	↑	Verspät. v. Sp. g. Spitze = 16	In Nr. 16—33 wurde elektrische Reizung mittels eines einzigen Induktionsschlages an verschiedenen Stellen der Ventrikeloberfläche vorgenommen. Da aber infolge Fortleitung des Stromes des Kontaktapparates durch zufällige Berührung mit dem Tisch des unteren Saitengalvanometers die untere Saite bei den Aufnahmen 16—24 schwirrte, konnten die erhaltenen Kurven nur zur Zeitmessung benutzt werden. Nach Abstellung dieses technischen Fehlers wurden gute D.-E. erhalten, wie z. B. Nr. 26, 27, 29, 30, 32 beweisen. Die Aufnahmen 28, 31 u. 33 weisen leider keinen Aktionsstrom einer Extrasystole auf, konnten aber, da sie den einer normalen Systole wiedergeben, zur Zeitmessung verwendet werden.
11	Spitze	↓ ↑	Mitte	↑ ↓	Verspät. v. Mitte g. Spitze = 0	
12	Spitze	↓ ↑	l. Basis	↓	Verspät. d. Basis g. Spitze = 15	
13	Spitze	↓ ↑	l. Basis	↓	do. = 17	
14	Spitze	↓ ↑	r. Basis	↓	do. = 18	
15	Spitze	↑	Mitte	↑ ↓	Verspät. d. Mitte g. Spitze = — 1	
16	Sp.-E.	↑ ↑	r. Basis	↓ ↓	Versp. d. Basis g. Sp = (15); — 2	
17	Sp.-E.	↑ ↑	r. Basis	↓ ↓	do. = (15); — 1	
*18	Sp.-E.	↑ ↑	r. Basis	↓	do. = (14); — 3	
Fig. 8.						
19	Sp.-E.	↑ ↑	r. Basis	↓	do. — (17); — 2	
21	Sp.-E.	↑ ↑	r. Basis	↓	do. = (21); — 1	
22	Spitze	↓ ↑	Mitte	↑ ↓	Versp. d. Mitt. g. Spitz. = — 1; — 12	
23	Spitze	↓ ↑	Mitte	↑ ↓	do. = — 2; — 11	
24	Spitze	↓ ↑	Mitte	↑ ↓	do. = — 2; — 13	

*) 7

Fortsetzung von X. Versuch.

Nr. der Kurve	Obere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Untere Kurve	Erregungsrichtung im Herzen	Zeitmessung in σ	Bemerkungen
*26 Fig. 13.	Spitze	↑	Mitte	↓	Verspät. d. Spitze g. gereizte Mitte = 87[1])	R.-A.-O.
					Im folgenden Normalschlag:	Kathode von der M.-E. ca. 15 mm Abstand und basiswärts gelegen.
27	Spitze	↑	Mitte	↑ ↓	Verspät. d. Mitte g. Spitze = 18	
					do. = 52	
					Im folgenden Normalschlag = 1	
28	Spitze	↑	r. Basis	↑	Verspät. d. Basis g. Spitze = 10	
29	Spitze	↑	r. Basis	↓	Versp. d. Spitze g. d. ger. Bas. = 61	R.-A.-O. Kathode rechts von der r. B.-E. und etwa 10 mm von der Atrioventrikulargrenze.
30	Spitze	↑	r. Basis	↓	do. = 62	R.-A.-O. Kathode mehr oberhalb der r. B.-E. gegen den Conus pulmon. hin.
31	Spitze	↑	Mitte	↑ ↓	Verspät. d. Mitte g. Spitze = −2	
32	Spitze	↑ ↑	Mitte	↓	Verspät. d. Spitze g. gereizte Mitte = (23); 66	R.-A.-O. Kathode auf dem rechten Ventrikel 10 mm oberhalb der M.-E.
					Im folgenden Normalschlag = 2	
33	Spitze	↓ ↑	Mitte	↑ ↓	Versp. d. Mitte g. Spitze = 8; −3	

[1]) Normale Leitung der Erregung durch den Reiz gestört.

Anmerkung. Die *T*-Zacke der H.-E. ist stets negativ. Die entsprechende Nebenschwankung im Basis-D.-E. ist auch negativ; dagegen in den Spitzen-D.-E. positiv.

Versuch XI. 23. I. 1913.

Hund. Differentialelektroden mittels angenähter Gummifäden (entsprechend den Glasstäbchen) befestigt. S.-E. 15 mm von der eigentlichen Herzspitze. B.-E. des rechten Ventrikels von S.-E. im Bogenmaß 41 mm entfernt. Differentialelektroden am rechten und linken Herzohr ca. 5 mm vom Rande.

Nr. der Kurve	Obere Kurve	Untere Kurve	Zeitmessung in σ	Bemerkungen
	D.-E. der			
1	Spitze	r. Basis	Versp. d. Basis g. Spitze = 5	
2	r. Basis	Spitze	do. = 6	
3	r. Basis	Spitze	do. = 8	
4	r. Basis	Spitze	do. = 7	
5	l. Ohr	r. Ohr	Verspät. d. linken Ohres g. rechtes = 8	
6	r. Ohr	l. Ohr	do. = 12	
7	r. Basis	Spitze	Versp. d. Basis g. Spitze = 6	
8	r. Basis	Spitze	do. = 7	
9	r. Basis	Spitze	Verspät. d. Basis gegen gereizte Spitze = 69	Im folgenden Normalschlag 14 σ. Künstl. Reizung 10 mm von der Spitzendifferentialelektrode auf dem linken Ventrikel und bei R.-A.-O. Die Entfernung der Kathode von der B.-E. beträgt 52 mm.
10	r. Basis	Spitze	do. = 66	

Anmerkung. Vorstehender Versuch wurde nach Beendigung meiner schriftlichen Arbeit angestellt; er ist daher in derselben auch nirgendwo berücksichtigt. Auch habe ich die Rubrik »Erregungsrichtung« nicht anführen können, da mir die Kurven leider nicht mehr zur Verfügung standen.

Erklärung der Tafeln I und II.

13 Aufnahmen sind reproduziert; davon stellen Fig. 12 u. 13 Differentialelektrogramme künstlich ausgelöster Kammerextrasystolen dar. Auf jedem Film sind 2 Elektrogramme und 2 Zeitkurven ($^1/_{148}$ und $^1/_5$ Sek.) gleichzeitig aufgenommen worden. Das H.-E. ist mit der Einthovenschen Nomenklatur (*P*, *R*, *T*) versehen. Im oberen D.-E. ist die Hauptschwankung mit *a*, die Nebenschwankung mit *b* bezeichnet; in dem unteren

D.-E. entsprechend mit *A* und *B*. Die Herkunft der D.-E. ist jedesmal angegeben.

Fig. 12, Tafel II (oben D.-E. r. Basis, unten D.-E. Spitze). Reizung ca. 5 mm von der Spitzendifferentialelektrode bei R.-A. 2. Der folgende Normalschlag ist mit *a'* und *A'* bezeichnet.

Fig. 13, Tafel II (oben D.-E. Spitze, unten D.-E. Mitte). Reizung ca. 15 mm von der Mittendifferentialelektrode auf der rechten Ventrikelbasis bei einem R.-A.-O. Der erste Normalschlag ist mit *a* und *A* bezeichnet; der Effekt der künstlichen Reizung mit *a'* und *A'*; der folgende Normalschlag mit *a''* und *A''* = normale Leitung der Erregung durch den Reiz gestört.

Lebenslauf.

Ich, Wilhelm Erfmann, gen. Koch, bin geboren am 13. Sept. 1888 zu Meckinghofen, Ldkrs. Recklinghausen (Westfalen). Bis zum 10. Lebensjahre besuchte ich die Elementarschule, darauf die Realschule und erhielt Ostern 1905 das Reifezeugnis für den Einjährigfreiwilligen-Dienst. 1908 bestand ich an der Oberrealschule zu Düsseldorf mein Abiturientenexamen. Darauf widmete ich mich dem Studium der Tierheilkunde und zwar 2 Semester in Hannover, 1 Semester in Stuttgart und 4 Semester in Berlin. An der Tierärztlichen Hochschule in Berlin bestand ich sowohl meine Naturwissenschaftliche Prüfung wie auch mein Staatsexamen (9. Mai 1912). Nach der Approbation habe ich verschiedene Vertretungen angenommen. Vom 1. November 1912 bis Mitte Januar 1913 habe ich im Physiologischen Institut der Universität Gießen unter Leitung des Herrn Prof. Dr. Garten vorliegende Dissertation ausgearbeitet. Die Doktorprüfung fand im Februar 1913 statt.

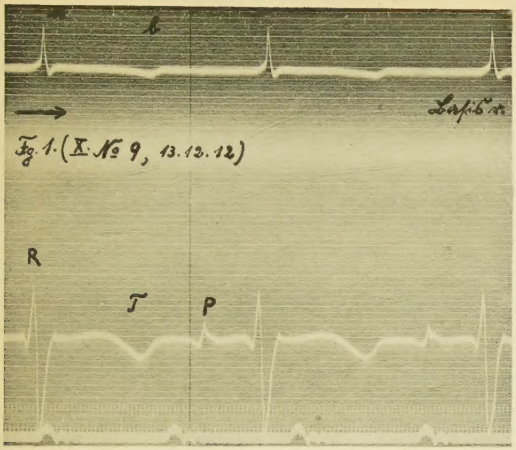


Fig. 1. (X. № 9, 13.12.12)

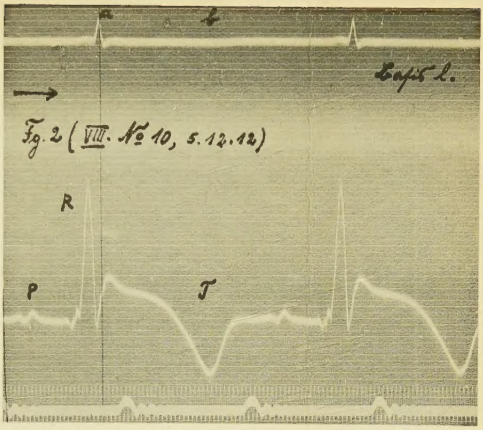


Fig. 2 (VIII. № 10, 5.12.12)

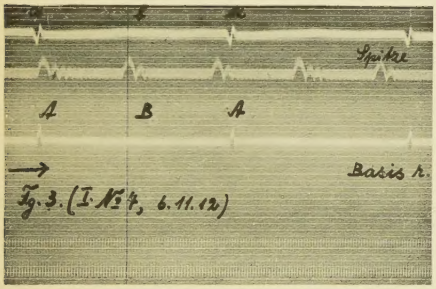


Fig. 3. (I. № 7, 6.11.12)

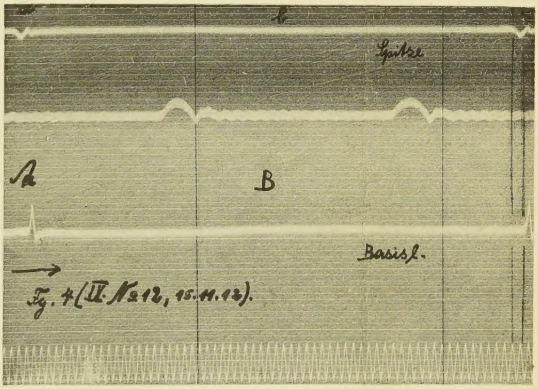


Fig. 4 (II. № 12, 15.11.12).

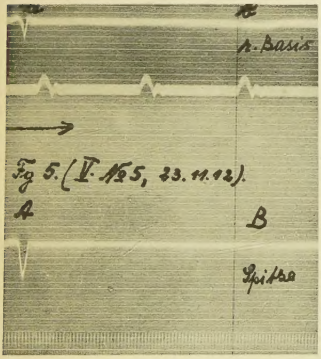


Fig 5. (V. № 5, 23.11.12).

Fig 8. (X. № 18, 13.12.12)

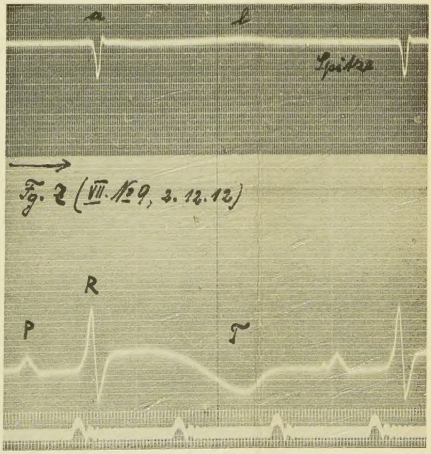
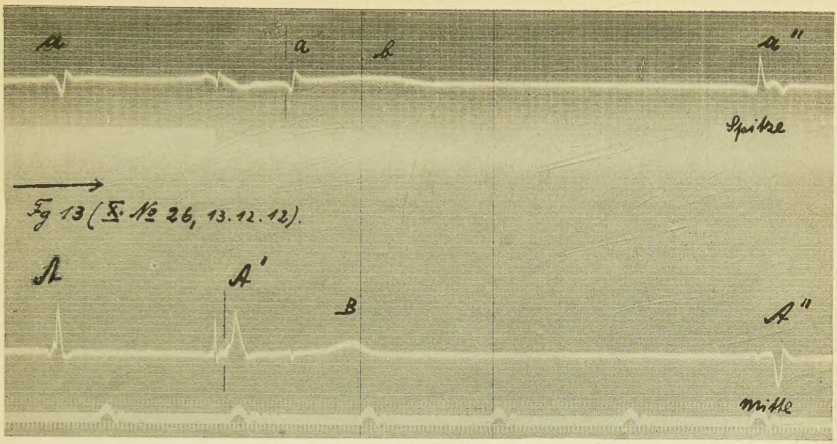
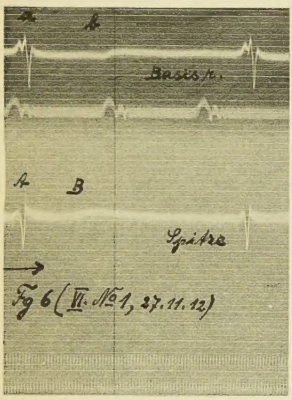
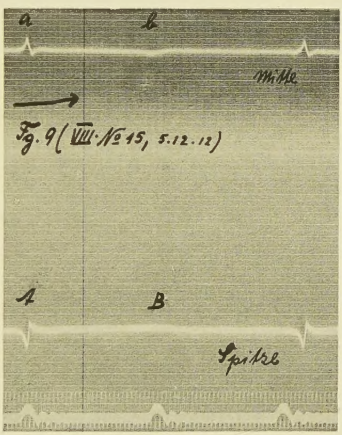
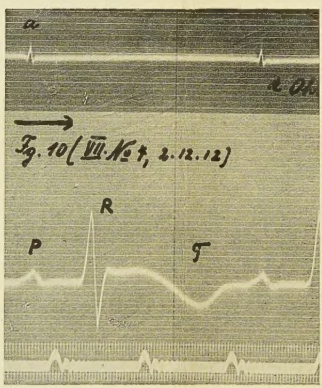


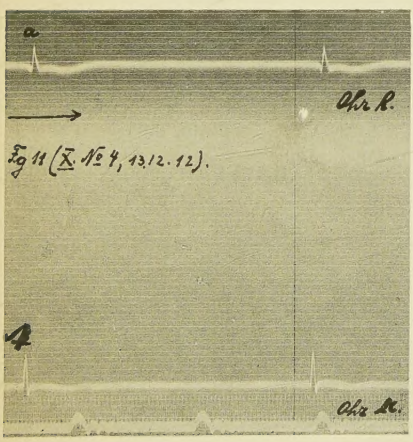
Fig. 7 (VII. № 9, 3.12.12)

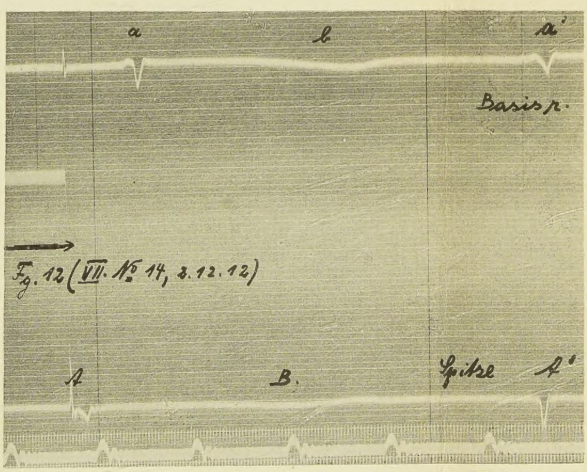

a
a
b
a''
Spitze
Fig 13 (X. № 26, 13.12.12).
A
A'
B
A''
Mitte


a
b
Basis r.
A
B
Spitze
Fig 6 (VI. № 1, 27.11.12)


a
b
Mitte
Fig. 9 (VIII. № 15, 5.12.12)
A
B
Spitze


a
2. Ob.
Fig. 10 (VII. № 7, 2.12.12)
R
P
T


a
Ohr R.
Fig 11 (X. № 4, 13.12.12).
4
Ohr R.


a
b
a'
Basis r.
Fig. 12 (VII. № 14, 3.12.12)
A
B.
Spitze
A'